E 2039

ETE

MW

1

REFERÁLVA

R 1989 -06- 04

Cuprins

DEZVOLTAREA SISTEMULUI ENERGETIC

ARIE A. ARIE, EUGENIU PAVEL: **Transportul energiei electrice în curent continuu de înaltă tensiune. Situația actuală** 1—8

MIHAELA IORDACHE: **O posibilitate de estimare a daunelor economice provocate de abaterile de calitate a energiei electrice** 8—12

MANFRED STEIN, GEORGE MORAITE, CHRISTIANA BĂRBULESCU: **Unele aspecte privind condițiile de racordare la sistem a unor generatoare de mare putere** 13—16

ENERGETICA ÎN UNITĂȚI ECONOMICE

IOAN FELEA, ZOLTAN ZALÁNYI: **Model matematic și program de calcul pentru evaluarea componentelor de daună provocată la întreruperea alimentării cu energie electrică a consumatorilor din construcții de mașini** 17—22

ANGELA PEREA, MIKLOS ZOLDY, ANTON ROȘU, MONA ANDRICI, RADU GLIGA: **Realizări în recuperarea căldurii gazelor de ardere cu temperaturi scăzute** 22—26

CENTRALE TERMOELECTRICE

VASILE POPOVICI: **Preocupări privind folosirea cenușii și zgurii de termocentrală** 27—31

CENTRALE HIDROELECTRICE

BORIS BORISEVICI: **Metodă de dimensionare a bazinelor compensatoare ale centralelor hidroelectrice în cascadă** 32—36

REȚELE ELECTRICE

LAURENȚIU M. GOIA, AURELIAN ȘERBAN: **Tratarea neutrului rețelelor de medie tensiune prin rezistor economic** 37—44

NOUTĂȚI

DIN ENERGETICA MONDIALĂ 31

DE PERSONIS

ALEXANDRU FRANSUA: **Ion S. Gheorghiu** 45—46

energetica

VOLUMUL XXXVII

BUCUREȘTI

IANUARIE 1989

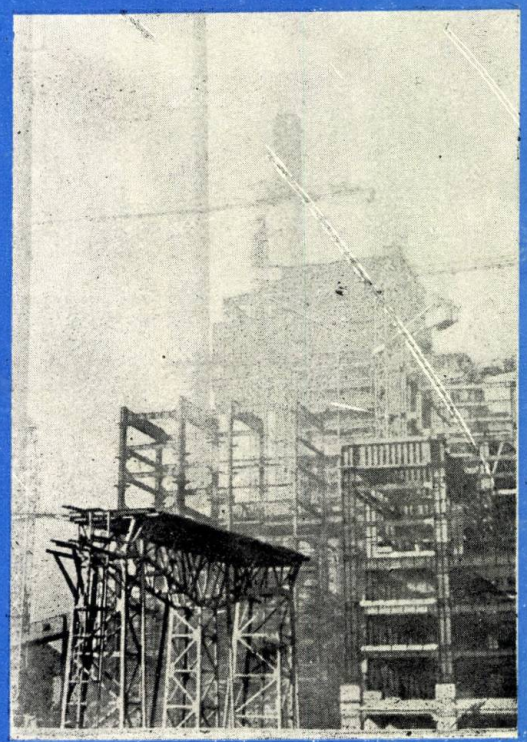
TRUSTUL energoconstrucţia

T.A.G. ENERGOCONSTRUCTIA, dispunînd de o dotare tehnică modernă şi de un important efectiv de muncitori de înaltă calificare, tehnicieni şi ingineri, realizează :

LUCRARI DE CONSTRUCTII SI DE INSTALATII aferente termocentralelor electrice şi de termoficare de mare şi foarte mare putere funcţionînd pe cărbune, gaze, păcură, şisturi etc.

LUCRARI DE TEHNICITATE DEOSEBITA CA :

. magistrale şi reţele de termoficare pentru alimentarea marilor centre industriale şi urbane ;
turnuri de răcire de mare capacitate cu tiraj natural sau forţat (Q = 42.000 mc/h) ;
coşuri de fum de mare înălţime (H = 280 m) ;
fundaţii speciale pentru maşini şi utilaje în termocentrale ;
staţii de transformare de 400, 200 şi 110 kV.



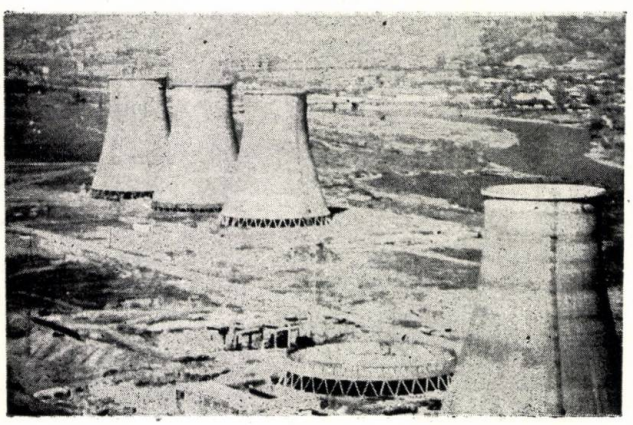
- Lucrări de construcţii şi instalaţii pentru REPARATII CAPITALE şi MODERNIZARI la toate obiectele aferente termocentralelor şi reţelelor de termoficare.

★ ★ ★

-LUCRARI HIDROTEHNICE AFERENTE TERMOCENTRALELOR :

- baraje de diferite tipuri, regularizări de rîuri ;
- prize decantoare şi staţii de pompe pentru debite importante ;
- canale şi conducte de apă caldă şi rece în soluţii constructive variate.

★ ★ ★ ★



T.A.G. "ENERGOCONSTRUCTIA' A REALIZAT IN SIRIA TURNURI DE RACIRE SI COSURI DE FUM LA RAFINARIA DIN BANYAS SI LA FABRICA DE CIMENT DIN ALEPPO.

T. A. G. "ENERGOCONSTRUCTIA"
Calea Dorobanţilor nr. 103 - 105
Sector 1 - Bucureşti
Telefon 79.60.20 - telex 10179

ENERGETICA

ORGAN AL MINISTERULUI ENERGIEI ELECTRICE ŞI AL CONSILIULUI NAŢIONAL AL INGINERILOR ŞI TEHNICIENILOR DIN REPUBLICA SOCIALISTĂ ROMÂNIA

SUB ÎNDRUMAREA CONSILIULUI ŞTIINŢIFIC AL INSTITUTULUI CENTRAL DE CERCETĂRI ENERGETICE

Anul 37 Nr. 1 ianuarie 1989

Dezvoltarea sistemului energetic

Transportul energiei electrice în curent continuu de înaltă tensiune. Situaţia actuală

Prof. dr. ing. ARIE A. ARIE, dr. ing. EUGENIU PAVEL *

MŰSZAKI INFORMÁCIÓS KÖZPONTI SZOLGÁLAT 1989

Descriptori: transport energie electrică, curent continuu

CZ: 621.3.05: 621.3.024

Sistemele paralele de transport al energiei electrice au avut încă de la început două variante tehnice posibile:
— în curent continuu;
— în curent alternativ.

Competiţia dintre cele două sisteme a fost determinată de considerente tehnice şi economice şi pînă acum 35—40 ani, sistemul de transport în curent alternativ a rezultat ca fiind favorabil, aproape exclusiv; cererea de energie mereu crescîndă a scos în evidenţă o serie de limite tehnologice de transport ca, de exemplu, cele referitoare la stabilitatea statică şi tranzitorie, la limitele curenţilor de scurtcircuit (legate de mărimea puterii transportate şi de lungimea liniilor), cele referitoare la interconexiunea sistemelor avînd principii diferite de exploatare etc. Necesitatea de a depăşi astfel de dificultăţi a impus cercetarea şi studierea altor soluţii.

Pe de altă parte, dezvoltarea tehnologiilor noi, în special descoperirea unor noi proprietăţi ale diferitelor materiale ca, de exemplu, acelea care au creat „electronica de putere" au făcut posibilă creşterea competitivităţii tehnicii curentului continuu de foarte înaltă tensiune.

Avînd în vedere aceste aspecte, se apreciază că una dintre soluţiile interesante din punct de vedere tehnic şi economic pentru transportul energiei electrice este combinaţia dintre cele două sisteme prin introducerea unor insule de curent continuu în sistemele electroenergetice mari de curent alternativ sau între două sau mai multe subsisteme.

În prezentul articol autorii trec în revistă situaţia în lume în acest domeniu.

The possible electric energy transport systems have had since the beginnings of modern electrical engineering, two main technical variants:
— in direct current;
— in alternative current.

The competition between the two systems was determined by technical and economic considerents and until 35—40 years ago the alternative current system has been considered as exclusively favourable. The increase of the electric power systems requirements has outlined a series of limits like the ones referring to steady state and transients stability, to the limits of short-circuit currents (connected mainly to the increase of the transmitted powers and of the lines' length), to the interconnection of the systems having different operation principles, etc. The need to surpass these difficulties has imposed the research and study of some new solutions.

On the other side, the development of modern technologies, mainly the discovery of some new properties of different materials, like, e.g., those who have created the "power electronics" have enabled the increase of the competitivity of extra high voltage direct current systems.

Taking into account these two reasons, it is appreciated that one of the interesting solutions from the technical and economic point of view, for the transport of electric power, is the combination of the two systems, by introducing some direct current islands inside large alternative current electric energy systems, or between two or more sub-systems.

In the present paper, the authors have attempted a review of the present worldwide situation in this field.

1. Rolul transportului energiei electrice în curent continuu

Încă de la începutul marilor descoperiri care au pus bazele electroenergeticii moderne, în a doua jumătate a secolului trecut, confruntarea între ideile privind sistemele de producere şi utilizare a energiei electrice, în curent alternativ sau în curent continuu, s-a materializat prin dispute tehnice şi ştiinţifice, dar mai ales comerciale, ca urmare a studiilor care examinau avantajele şi dezavantajele acestor variante. În anul 1878, la opera din Paris, Jablocikov face o demonstraţie pentru producerea energiei electrice şi alimentarea în curent alternativ a unor lămpi electrice. Marcel Deprez a realizat primul transport comercial în curent continuu, cu ocazia unei expoziţii la München în 1882, printr-o linie de 57 km între München şi Wiesbach. Tot el a prezentat un raport asupra „*transportului curenţilor electrici*" la primul congres mondial al electrotehnicienilor, ţinut la Paris în octombrie 1881. Inventarea şi punerea la punct a maşinilor sincrone, a transformatoarelor, a maşinilor asincrone au permis

* Prof. dr. ing. Arie A. Arie — Facultatea de Electrotehnică şi Energetică, Institutul Politehnic Bucureşti, dr. ing. Eugeniu Pavel — Institutul Central de Cercetări Energetice, Bucureşti.

experimentarea variantei de transport și utilizare a energiei în curent alternativ. Au contribuit la experimentări savanți ca Dolivo Dobrovolski, Elihu Thomson, Siemens și alții. Oscar von Miller a realizat în 1891 primul transport comercial de energie electrică în curent alternativ pe distanța de 175 km de la Frankfurt am Mein la Lauffen. Practic simultan, Dolivo Dobrovolski a realizat o experiență similară [24]. În Statele Unite ale Americii, Thomas Alva Edison construise în 1882 o centrală electrică cu o rețea de distribuție în curent continuu, în orașul New York, cu scopul de a alimenta lămpile cu incandescență pe care le inventase. În mai 1883, Nikola Tesla a depus un patent la American Institute of Electrical Engineers, pentru „*un nou sistem de motoare și transformatoare de curent alternativ*". Azi sistemele de curent alternativ sînt unanim acceptate, dar pe vremea aceea, Edison declara Societății Științifice Americane că dorința sa ar fi „*să se interzică complet folosirea curentului alternativ. Acesta nu este necesar, fiind periculos*" [2]. Considerentele tehnice și economice au avut prioritate și pînă în prezent; în majoritatea cazurilor, economicitatea sistemelor alternative trifazate a determinat alegerea acestei variante.

Este cazul să subliniem și cu această ocazie faptul că, pe teritoriul României, prima centrală în curent alternativ a fost pusă în funcțiune la Timișoara în 1884, iar prima centrală în curent continuu, la București în 1885.

În 1924, la o expoziție internațională din Londra, s-a prezentat o instalație de transport în curent continuu, funcționînd la 120 kV, cu convertizoare și redresoare rotative. Acest eveniment marchează o nouă etapă în tehnica transportului în curent continuu : transportul în curent continuu de înaltă tensiune (TCCIT) [1]. Următorii 30 ani au fost folosiți pentru experimentări, atît în Europa, cît și în America, folosindu-se tehnica redresoarelor și convertizoarelor cu vapori de mercur.

În etapa următoare, odată cu dezvoltarea electronicii de putere, s-a trecut la utilizarea semiconductoarelor solide, respectiv la utilizarea tranzistoarelor și tiristoarelor de mare putere. În această etapă, prima aplicație comercială pentru transportul în curent continuu a fost legătura între insula Gotland și Suedia. Pentru o putere de 20 MW s-a folosit un cablu submarin de 100 kV, care a fost pus în funcțiune în 1953. În prezent, cea mai mare instalație de transport în curent continuu de înaltă tensiune în cabluri submarine este cea realizată între Franța și Marea Britanie, pe sub Canalul Mînecii, pentru o putere de 2000 MW, care a fost pusă în funcțiune în etape între 1986 — — 1988. În ceea ce privește instalațiile supraterane, cea mai importantă este cea de la Itaipu din Brazilia, realizată pentru o putere de 6300 MW.

Într-o serie de țări din Europa, din America de Nord, în Japonia, în care există sisteme de curent alternativ care nu puteau fi interconectate în sincronism din diferite motive (frecvențe diferite, instabilitate etc.) au fost realizate bucle de curent continuu pentru transferul puterilor.

În prezent există în lume circa 35 instalații de CCIT cu o putere totală de circa 30 000 MW, precum și încă șapte instalații în curs de realizare, cu o putere totală de circa 13 000 MW [19].

2. Conceptele și elementele unei structuri de curent continuu de înaltă tensiune (CCIT)

Sistemele de CCIT pot fi clasificate din mai multe puncte de vedere.

a. Din punctul de vedere al sincronismului există :

— interconexiuni sincrone, în care buclele se realizează în interiorul unui sistem electroenergetic în curent alternativ sau între două sisteme de aceeași frecvență ;

— interconexiuni asincrone, în care cele două sisteme au frecvențe diferite (de exemplu 50 Hz și 60 Hz) sau cînd cele două sisteme au frecvențe necorelate sau cînd se alimentează un subsistem fără generatoare locale ;

b. Din punctul de vedere al lungimii liniei de transport în curent continuu :

— cu distanțe mari în cabluri în sol sau submarine, sau în linii aeriene ;

— cu distanțe „nule" cînd convertizoarele sînt conectate foarte aproape „spate la spate" („back-to-back"), această schemă folosindu-se în special pentru legătura sistemelor sincrone sau asincrone.

c. Din punctul de vedere al stațiilor terminale :

— sisteme biterminale, în care interconexiunea include numai două stații convertizoare : o stație redresoare (la capătul de transmitere a puterii) și o stație invertoare (la capătul de primire). În terminologia engleză, astfel de sisteme se numesc „point to point" ;

— sisteme multiterminale (multiterminal systems) în care interconexiunea cuprinde mai multe stații amplasate în diferite locuri, unele redresoare altele invertoare. Prima, și în prezent singura schemă multiterminală din lume, a fost pusă în funcțiune în fază finală în 1987, între Italia, Corsica și Sardinia. Sistemul este triterminal.

În prezent, practic toate structurile de CCIT sînt integrate între două sau mai multe structuri de curent alternativ. Aceasta se datorește faptului că în tehnica actuală, atît producerea, cît și distribuția energiei electrice se face predominant în curent alternativ polifazat. Dezvoltarea în viitor a generatoarelor magneto-

hidrodinamice de curent continuu de mare putere, care să transforme direct o formă de energie termică sau radiantă în energie electrică în curent continuu, va putea reduce numărul terminalelor generatoare în curent alternativ. Se așteaptă ca prin această tehnologie să se obțină o creștere substanțială a randamentului transformării.

Schema tip de integrare a unei linii electrice de curent continuu între două structuri de curent alternativ este prezentată în figura 1.

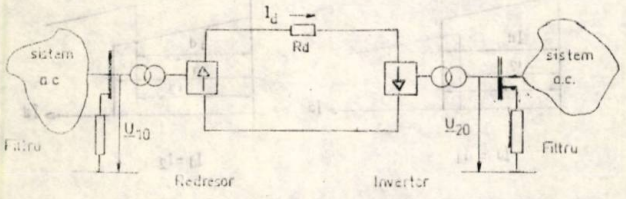


Fig. 1. Schema unei structuri de curent continuu de înaltă tensiune integrată între două sisteme de curent alternativ.

Examinarea schemei ne sugerează existența unor probleme ale căror analize și rezolvări sînt necesare atît pentru regimurile normale, cît și pentru regimurile de avarii, ca de exemplu :

— calculul căderilor de tensiune atît în structura de curent continuu, cît și în structurile de curent alternativ ;

— reglarea tensiunii în această structură mixtă (CA—CC—CA) ;

— reversibilitatea schemei electrice complexe ;

— poluarea și perturbarea structurilor de curent alternativ prin generarea armonicelor superioare de către instalațiile necesare curentului continuu ;

— perturbarea mediului înconjurător prin apariția unor cîmpuri suplimentare magnetice, electrice, a unor interferențe electromagnetice pe frecvențele radio și de televiziune, prin creșterea nivelului de zgomot, prin influențarea stratului de ozon etc. ;

— poluarea elementelor liniilor și stațiilor electrice, în special poluarea și corodarea izolatoarelor instalațiilor de curent continuu, fenomene care sînt puternic influențate de cîmpurile unidirecționale ;

— regimurile de scurtcircuit simetric și nesimetric ;

— punerile la pămînt ;

— supratensiunile. Se menționează cazurile deosebite de supratensiuni și supracurenți care apar la descărcarea bruscă a liniei de curent continuu echivalentă cu un condensator pentru structura de curent continuu ;

— stabilitatea statică și tranzitorie în întreaga structură complexă.

În comparație cu problemele analoage ale rețelelor, exclusiv de curent alternativ, complexitatea acestora crește în mod deosebit în cazul structurilor mixte, de aceea reglajul și protecția prin relee devin mult mai sofisticate. În plus, structurile multiterminale în curent continuu ridică și mai mult gradul de complexitate amintit.

În ultimii patruzeci de ani s-au intensificat studiile și cercetările referitoare la aceste probleme [3]. S-au stabilit modele matematice și s-au efectuat experiențe în laboratoare special construite pentru studiul transportului în curent continuu. Au fost construite modele fizice de curent continuu în U.R.S.S., S.U.A., Japonia, Marea Britanie, R.F.G. etc. [4]. Trebuie menționat faptul că în aceeași perioadă, la Institutul Politehnic București au fost concepute și construite, sub coordonarea profesorului emerit Constantin Dinculescu, un model fizic de curent alternativ și un model fizic de curent continuu. Modelul de curent continuu a fost construit de IPA și instalat în noul local al I.P.B.

În paralel, au fost folosite și modelele matematice. Astfel, Baudisch [3] a stabilit o relație între reactanțele reduse ale sistemului în curent alternativ X_{eR} din regiunea redresoarelor, respectiv X_{eT} din regiunea invertoarelor, considerînd o rezistență R_e în structura de curent continuu. Astfel se formează o schemă electrică echivalentă în curent continuu (fig. 2). Odată

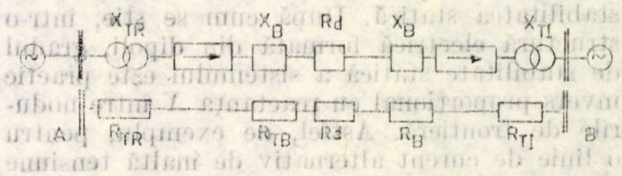


Fig. 2. Schemele echivalente de curent alternativ și curent continuu.

redusă la o structură în curent continuu, structura mixtă poate fi folosită pentru calcule de căderi de tensiune. În figura 3 se prezintă aspectul căderilor de tensiune în curent continuu corespunzătoare schemei echivalente din figura 2. Relația lui Baudisch este de forma :

$$R_e = \frac{p}{2\pi} X_T \, (\Omega), \qquad (1)$$

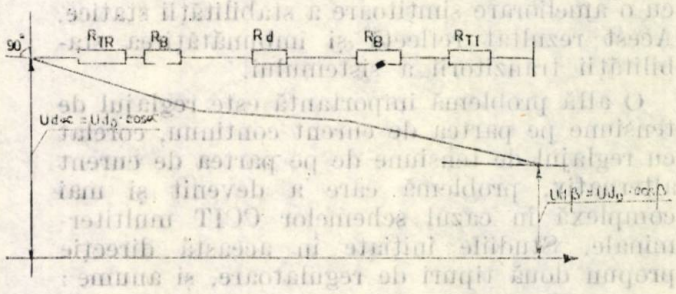


Fig. 3. Căderile de tensiune pe schema echivalentă de curent continuu.

în care :

p este numărul de pulsuri ;

X_T — reactanța echivalentă a părții de curent alternativ ;

R_e — rezistența echivalentă în curent continuu.

Desigur, astăzi mijloacele rapide de calcul permit stabilirea circulației de curenți fără a fi necesară simplificarea schemelor electrice. Modelul matematic al lui Baudisch este remarcabil și pentru faptul că permite transfigurarea inversă a parametrilor regiunii de curent continuu în parametri corespunzători regiunii în curent alternativ. Relația de transformare pentru parametri este :

$$X_L = \frac{2\pi}{p} R_L \ (\Omega), \qquad (2)$$

în care :

p are aceeași semnificație ca în (1) ;

R_L — rezistența părții de curent continuu ;

X_L — reactanța echivalentă în curent alternativ.

Se obține astfel, o schemă echivalentă integrată, în curent alternativ.

Analizîndu-se calitativ relația (2) rezultă o imagine asupra felului cum trebuie tratată stabilitatea statică. După cum se știe, într-o structură electrică formată din dipoli, gradul de stabilitate statică a sistemului este practic invers proporțional cu reactanța X între nodurile de frontieră. Astfel, de exemplu, pentru o linie de curent alternativ de înaltă tensiune de circa 500 km reactanța este de ordinul $X_L = 150\ \Omega$. Dacă același transfer s-ar face printr-o linie de curent continuu de aceeași lungime, rezistența electrică ar fi de circa 7,5 Ω. Ca urmare, dacă numărul de pulsuri ar fi de 6 (pentru o punte uzuală trifazată), reactanța echivalentă ar fi de circa 20 ori mai mică decît cea corespunzătoare liniei de curent alternativ :

$$X_L = \frac{2\pi}{p}, \quad R_e = \frac{2\pi}{6} 7{,}5 \cong 7{,}5\ \Omega \qquad (3)$$

cu o ameliorare simțitoare a stabilității statice. Acest rezultat reflectă și îmbunătățirea stabilității tranzitorii a sistemului.

O altă problemă importantă este reglajul de tensiune pe partea de curent continuu, corelat cu reglajul de tensiune de pe partea de curent alternativ, problemă care a devenit și mai complexă în cazul schemelor CCIT multiterminale. Studiile inițiate în această direcție propun două tipuri de regulatoare, și anume :

— regulator sub curent constant maxim la redresor și varierea unghiului la invertor ;

— regulator sub curent constant la invertor și varierea unghiului la redresor (fig. 4).

Astfel, de exemplu, notîndu-se cu i_1 curentul maxim de consemn al redresorului, cu i_2 curentul minim al invertorului, se observă că în primul caz reglajul se face pentru $I = i_1$ al redresorului, iar în al doilea caz pentru $I = i_2$ al invertorului [5, 6].

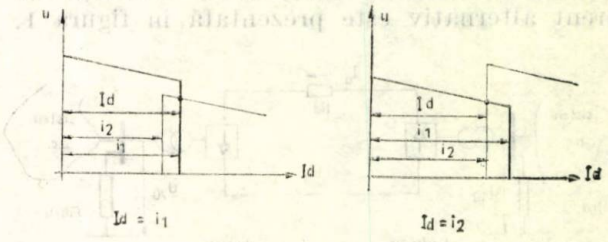


Fig. 4. Caracteristicile reglajelor redresoarelor și invertoarelor.

În lucrarea [7] se studiază și cazul unui grup de redresoare cuplate cu un grup de invertoare ; reglajul se poate face fie în regiunea redresoarelor, fie în regiunea invertoarelor, fie în ambele regiuni. În lucrările [8, 9, 10] se prezintă și alte variante.

Probleme noi apar și în domeniul tehnologic [18]. Valorile curenților la care s-a ajuns pe capsula de diodă sau tiristor sînt de ordinul 10 000 A/capsulă. În țara noastră s-a ajuns la 1000 A/capsulă, folosindu-se siliciul. În creșterea valorilor curenților de lucru se contează pe o bună răcire [15]. S-a mai dezvoltat tehnica optocuploarelor, care permit, folosind fibrele optice, izolarea părții de comandă și control de partea de foarte înaltă tensiune. Timpul de lucru al optocuploarelor este de ordinul 10^{-9} s [16].

S-a dezvoltat puternic tehnica procesoarelor și microprocesoarelor care apar ca necesare în reglajul structurilor multiterminale.

O altă problemă este aceea a izolației stațiilor și liniilor. Din cauza cîmpurilor electrice unidirecționale poluarea izolației este mai puternică. Sub influența acestor cîmpuri, în izolatoarele de sticlă și în suporți se produc migrări suplimentare de ioni, care favorizează distrugerea izolației și corodări în zona de prindere a capei de fontă cu masa izolantă (sticlă sau porțelan). Din această cauză, izolatoarele folosite pentru CCIT trebuie să fie de tipul izolatoarelor pentru zone foarte poluate, cu mari depuneri de impurități [11, 13, 14, 15].

Lungimea lanțurilor de izolatoare este în schimb mult mai mică față de cele corespunzătoare în curent alternativ, curba de repartiție a potențialului pe lanț fiind mult mai uniformă (teoretic, curba este o dreaptă). Aceasta conduce la micșorarea numărului de izolatoare pe pol la aceeași tensiune de serviciu în curent alternativ. Ținînd seama că în curent alternativ

izolația trebuie să corespundă nivelului tensiunii maxime, respectiv $\sqrt{2}U_{ef}$, rezultă și de aici o reducere suplimentară a lungimii lanțului.

O analiză a pierderilor pe linii, comparînd soluțiile în curent continuu și în curent alternativ, evidențiază avantajele CCIT. În mod special rezultă un avantaj prin transferul de energie în cablu [20], puterea naturală de transfer a acestora fiind teoretic infinită. Se știe că în curent alternativ, afară de stabilitatea la scurtcircuite, pierderile dielectrice sînt cele care limitează transferul de putere prin cabluri, la tensiuni foarte mari. De aceea, interconexiunile stabile la distanțe foarte mari nu sînt posibile decît în curent continuu. Problemele unei astfel de interconexiuni au fost enunțate și în țara noastră prin lucrări comunicate sau publicate, din care rezultă chiar avantajele unor legături internaționale. Aceste legături ar avea consecințe economice importante [17, 21].

Se mai menționează posibilitatea legăturilor „back-to-back" care aduc mari avantaje la interconexiunile a două sisteme electroenergetice cu frecvențe diferite sau pentru interconexiunile între două sisteme cu aceeași frecvență nominală, dintre care unul poate menține o frecvență constantă, iar al doilea are o frecvență labilă. Literatura de specialitate menționează și exemplifică asemenea cazuri [23], de unde rezultă avantajele corespunzătoare. Se subliniază faptul că în această situație schimbul de putere se poate face după un program fix, indiferent de frecvențele reale ale celor două sisteme (fig. 5 și fig. 6). În sfîrșit, schemele „back-to-back" pot prezenta pentru ansamblul sistemelor un grad suplimentar de siguranță.

În concluzie, funcțiile principale ale legăturilor în curent continuu de înaltă tensiune sînt:

— interconexiuni între sisteme electroenergetice cu regimuri de exploatare diferite (de exemplu frecvențe diferite);

— transportul energiei la distanțe foarte mari;

— separarea de sectoare, acolo unde este necesar, avînd avantajul creșterii stabilității și reducerii puterilor de scurtcircuit;

— compensarea puterii reactive.

3. Cerințe actuale în concepția instalațiilor de CCIT

Literatura de specialitate arată că aspectul și concepția generală a stațiilor, și în general a instalațiilor de curent continuu de înaltă tensiune (CCIT), nu s-a schimbat în mod esențial în ultimii 10 — 15 ani. Totuși au apărut o serie de cerințe noi, care au impus căutarea de noi soluții în proiectare.

Fiabilitatea și disponibilitatea instalațiilor au devenit cerințe obișnuite în caietele de sarcină contractuale. Pentru creșterea acestor indicatori de calitate pe ansamblu, s-a aplicat de exemplu în stațiile de conversie, principiul redondanței fără a crește prea mult complexitatea. Un impact major îl are și-l va avea îmbunătățirea schemelor de comandă și automa-

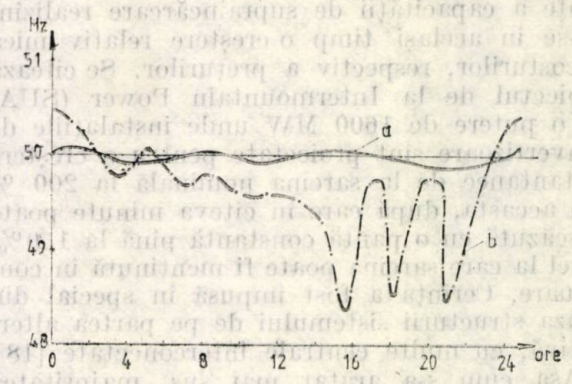


Fig. 5. Aspectul frecvențelor a două sisteme de curent alternativ cuplate printr-o legătură back-to back: a — frecvența stabilă a sistemului A; b — frecvența labilă a sistemului B.

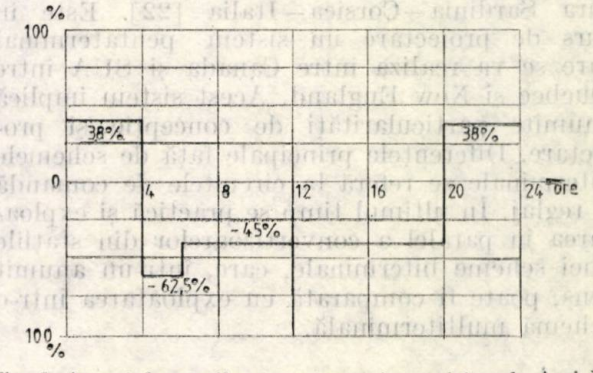


Fig. 6. Aspectul puterilor transferate între sistemele A și B ale căror frecvențe sînt prezentate în figura 5: + transfer de la sistemul B către sistemul A; — transfer de la sistemul A către sistemul B.

tizare. Datele publicate arată că în prezent disponibilitatea energiei transmise este de circa 99,5%, iar măsurarea fiabilității a condus la cifre de ordinul 20 avarii/pol și an. Pentru viitorul apropiat se apreciază că disponibilitatea energiei va crește la mai mult de 99,7 %, iar fiabilitatea va ajunge corespunzătoare unor valori de mai puțin de 3 avarii/pol și an. Valorile date mai sus se referă numai la stațiile de CC (exclusiv situația din linii) [18].

O altă cerință luată în considerare este cea a pierderilor tehnologice. Reducerea acestora a constituit o preocupare tehnică continuă, acționîndu-se asupra tensiunii de exploatare aplicată tiristoarelor (care a crescut pînă la de trei ori), asupra răcirii convertizoarelor (în ultimul timp se folosește răcirea cu apă în locul răcirii cu aer) etc. În figura 6 se prezintă aspectul variației consumurilor tehnologice în decursul timpului [11]. Se apreciază că în viitor această tendință se va menține.

Capacitatea de supraîncărcare este azi o cerință normală de exploatare. Folosirea în

trecutul apropiat a tiristoarelor de putere relativ mică a condus la limitarea inerentă a capacității de supraîncărcare a stațiilor. În prezent, utilizarea tiristoarelor de mare putere a făcut posibilă obținerea unei creșteri importante a capacității de supraîncărcare realizîndu-se în același timp o creștere relativ mică a costurilor, respectiv a prețurilor. Se citează proiectul de la Intermountain Power (SUA) cu o putere de 1600 MW unde instalațiile de convertizoare sînt proiectate pentru o creștere instantanee de la sarcina nominală la 200 % din aceasta, după care în cîteva minute poate fi scăzută cu o pantă constantă pînă la 150%, nivel la care sarcina poate fi menținută în continuare. Cerința a fost impusă în special din cauza structurii sistemului de pe partea alternativă, cu multe centrale interconectate [18].

Așa cum s-a arătat mai sus, majoritatea sistemelor de CCIT în exploatare pînă în prezent sînt realizate în scheme biterminale (point to point). Singurul sistem multiterminal este legătura Sardinia—Corsica—Italia [22]. Este în curs de proiectare un sistem pentaterminal care se va realiza între Canada și SUA între Quebec și New England. Acest sistem implică anumite particularități de concepție și proiectare. Diferențele principale față de schemele biterminale se referă la circuitele de comandă și reglaj. În ultimul timp se practică și exploatarea în paralel a convertizoarelor din stațiile unei scheme biterminale, care, într-un anumit sens, poate fi comparată cu exploatarea într-o schemă multiterminală.

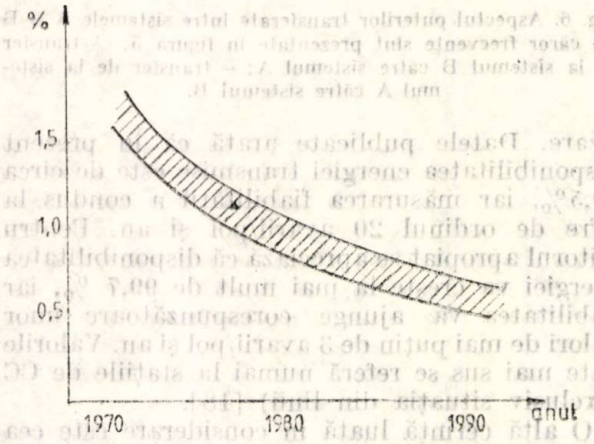


Fig. 7. Variația consumurilor tehnologice ale legăturilor în curent continuu de înaltă tensiune în decursul timpului, în procente din energia tranzitată.

Circuitele primare sînt proiectate aproximativ în aceeași configurație generală ca cea folosită în 1970. În practica actuală elementele redresoare au izolația în aer, sînt plasate în hale cu o atmosferă curată și controlată. Celelalte elemente ale circuitului primar ca transformatoarele, reactoarele de aplatisare și filtrele de pe partea de CC și CA, sînt plasate în aer liber pe terenuri deschise.

Legăturile biterminale se realizau în general în scheme bloc fără întrerupătoare pe partea

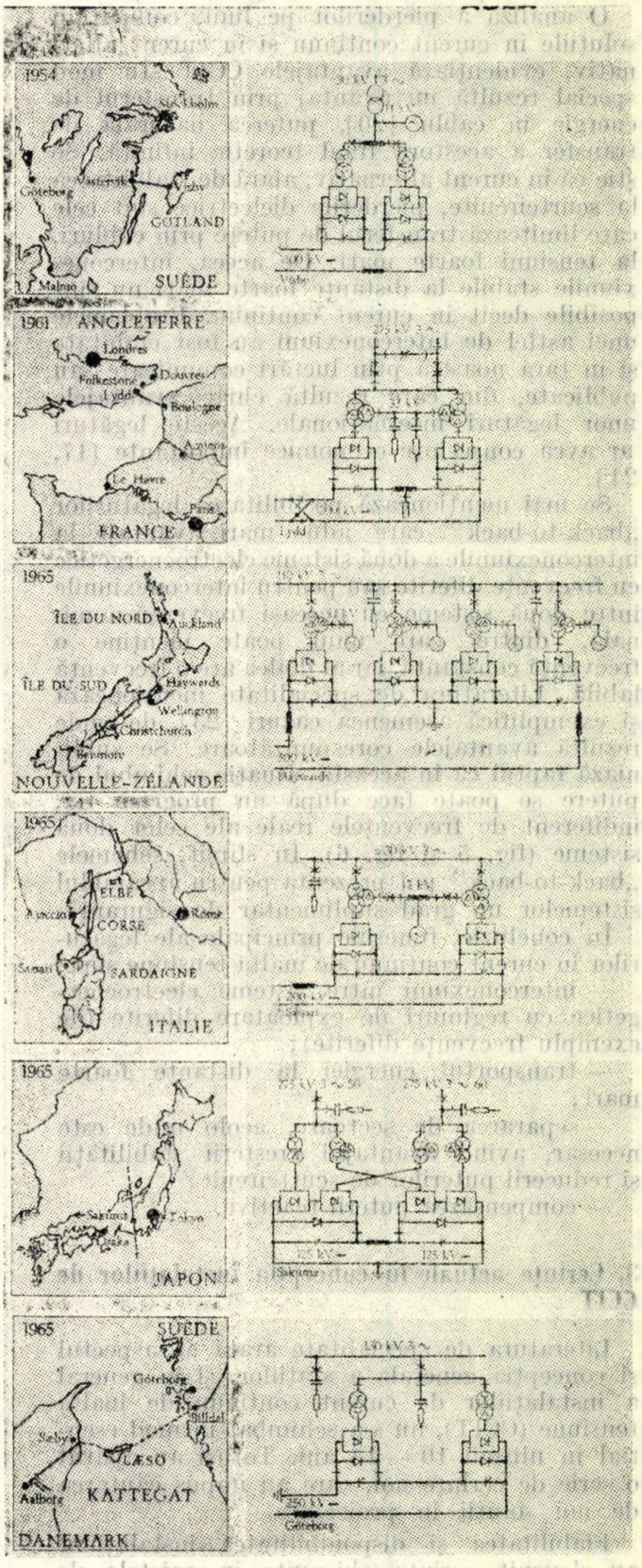


Fig.8. Schemele citorva bucle de curent continuu de înaltă tensiune realizate în lume (după [12]).

de curent continuu. În anii '60 se argumenta deseori că schemele multiterminale nu vor putea fi realizate pînă cînd nu se vor realiza și întrerupătoarele speciale de CCIT. În fapt, în prezent s-au realizat întrerupătoare de curent continuu de înaltă tensiune testate cu succes pentru 4000 A la 500 kV, dar este probabil că nu vor fi necesare, deoarece acționarea rapidă a întrerupătoarelor — chiar fără capacitate de rupere a curentului continuu maxim — în combinație cu comanda rapidă a redresoarelor și invertoarelor vor fi suficiente pentru conectarea și deconectarea convertizoarelor.

Posibilitatea de capsulare a aparatajului din circuitul primar cu tehnica GIS (Gas Insulated System), care este folosită pe larg în curent alternativ (folosindu-se ca mediu izolator hexafluorura de sulf) este studiată și pentru curent continuu, dar progresul este mai lent, deoarece în acest caz tensiunile de-a lungul izolatoarelor trebuie să fie controlate din punctul de vedere al rezistivităților care pot varia sensibil de-a lungul liniei de fugă. În curent alternativ, izolația este determinată de capacitanță, a cărei variație este mai mică.

Prima aplicație comercială a tehnicii GIS în CCIT a fost realizată în Gotlanda, la noua buclă pusă în funcțiune în 1983. La CIGRE în 1986, s-a raportat că s-au făcut o serie de testări în tehnica GIS, demonstrîndu-se fezabilitatea pentru stații de CC cu tensiuni pînă la 500 kV. Impedimentul cel mai important pentru extinderea sistemului îl reprezintă costul foarte ridicat, dar avantajele privind compactitatea, insensibilitatea la condițiile mediului înconjurător (poluare, ploaie etc.) fac ca problema să rămînă deschisă, iar laboratoarele să continue încercările și testele.

Mai trebuie menționat că în proiectarea circuitelor primare beneficiarii solicită din ce în ce mai mult (în special în S.U.A.) verificarea instalațiilor din punctul de vedere al rezistenței la forțele seismice.

Progrese importante s-au făcut în legătură cu elementele redresoare. Dacă pînă în 1960 au fost folosite numai redresoare cu vapori de mercur, în ultimul timp se folosesc aproape în exclusivitate tiristoarele. Partea activă a tiristoarelor este o capsulă semiconductoare din silicon monocristalin. La început, elementele tiristoare erau limitate din punctul de vedere al tensiunii și al puterii. Aceasta însemna că pentru fiecare redresor era necesar un mare număr de tiristoare. În ultimii 10 ani, tensiunea inversă de blocare a crescut de 2—3 ori și ca urmare a fost posibilă o reducere a pierderilor, a dimensiunilor și o considerabilă reducere a costurilor.

În legătură cu comenzile și automatizările afectate tiristoarelor trebuie amintită noua tehnică a comenzilor cu ajutorul luminii (Light Triggered Thiristor = LTT) care elimină circuitele electronice ale tiristoarelor față de sistemul electric (Electric Triggered Thyristor = = ETT). Pentru a se stabili competitivitatea tehnică și economică între aceste scheme sînt în curs cercetări.

În toate variantele, tehnica fibrelor optice este folosită practic exclusiv pentru transmiterea semnalelor de măsură, comandă și control la tiristoare, ele fiind prin natura lor foarte bune izolatoare. În figura 8 se prezintă (după [12]) cîteva scheme de bucle în curent continuu de înaltă tensiune realizate în lume.

Concluzii

Principalele avantaje ale transportului în CCIT pot fi enumerate pe scurt astfel:

— posibilitatea interconectării a două sisteme electroenergetice, care au fie principii diferite de exploatare, fie frecvențe diferite, fie tensiuni diferite etc.;

— posibilitatea comandării puterii tranzitate;

— creșterea stabilității statice și tranzitorii a sistemelor conectate;

— posibilitatea excitării mașinilor la rezonanța subsincronă, ca în cazul folosirii în aplicațiile cu condensatoare serie; compensarea puterii reactive;

— exploatarea mai avantajoasă în unele cazuri, ca de exemplu curățirea izolatoarelor liniilor și stațiilor la o tensiune scăzută chiar pe vreme nefavorabilă, instalația putînd fi folosită în acest timp cu o putere redusă pînă la 50%.

În concluzie se poate spune că instalațiile de CCIT moderne au atins un anumit grad de maturitate. Nu se așteaptă ca în viitorul apropiat să apară deosebiri esențiale, cu excepția introducerii tehnicii GIS.

Asupra comparațiilor tehnico-economice între transportul energiei electrice în CC sau în CA nu se poate trage o concluzie, iar rezultatele studiilor efectuate nu se pot încă generaliza din cauza fluctuației și variației foarte rapide a prețurilor elementelor instalațiilor. Orientativ, în literatura de specialitate se arată că în schemele biterminale pentru liniile aeriene, distanțele pînă la aproximativ 1000 km avantajează curentul alternativ; pentru lungimi mai mari devin competitive liniile de curent continuu. Folosirea cablurilor de foarte înaltă tensiune avantajează curentul continuu. Instalațiile „back-to-back" merită însă o analiză de cîteori este vorba de o legătură între două sau mai multe sisteme electroenergetice, datorită importantelor avantaje menționate mai sus.

Bibliografie

[1] * * * *The History of High Voltage Direct Current Power Transmission*. Ed. Direct Current LTD London.

[2] Gavrilovici, A. *HVDC transmission-its role and development*. In: Power Technology International, 1988, London.

[3] Baudisch, K. *Energieübertragung mit Gleichstrom hoher Spannung*. Ed. Springer-Verlag, Berlin 1950.
[4] Poeată, A., Arie, A., Crişan, O., Eremia, M., Buta, A., Alexandrescu, V. *Transportul şi distribuţia energiei electrice*. Capitolul 6.9 „*Linii lungi în curent continuu*". Ed. Didactică şi Pedagogică, Bucureşti, 1985.
[5] Eremia, M. *Transportul energiei electrice în curent continuu*. I.P. Bucureşti, 1987.
[6] Magdy El Marsafawy *Accurate Simulation of Commutation Overlap Effects in an HVDC Terminal Model for Power Flow Studies*. Electric Power Systems Research 13 (1987).
[7] Lamm, U., Uhlmann, E., Danfors, P. *Some Aspects on Tapping of HVDC Transmission Systems*. Ed. Direct Current LTD London.
[8] Foerst, R., Heyner, G., Kanngiesser, K., W., Waldmann, H. *Some Aspects of Controlling Multi-terminal HVDC Transmission Systems*. CIGRE com. 10 aprilie 1967.
[9] David, A. K., Cory, B. J. *Control by digital computer of multiterminal HVDC system under fault condition*. In: Proc. IEE, vol. 119, no. 7, iul 1972.
[10] Brandt, D., Sadek, K., Khaled, M. *Advanced control methods and application for multiterminal HVDC systems*. CIGRE 300-06-1987.
11] Forrest, J. S. *Performance of HVDC insulation in polluted atmospheres*, CIGRE com. 10, 1967.
[12] Lamm, U. *Nouvelles applications du courant continu à haute tension*. In: ASEA—Revue, 35 (1963), 3.
[13] Harrop, R., Baue, D. *Insulators for HVDC overhead lines*. In: Power Technology International, 1988, London.
[14] Hermansson, L. *The screened rod-gap — a rod gap with controlled flashover characteristics*. CIGRE-com. 10 1967.
[15] Iosif, N., Luca, D. M., Udrea-Spenea, M., Popa, E., Boulescu, Gh., Primejdie, G. *Tiristoare şi module de putere*. Catalog. Ed. Tehnică, Bucureşti, 1984.
[16] Postolache, C., Căldăraru, N., Hagima, D., Budianu, E. *Fototiristor planar lateral de sensibilitate optică ridicată*. Lucrare prezentată la Centrul de Cercetare Ştiinţifică şi Inginerie Tehnologică pentru Semiconductoare.
[17] Arie, A. *Probleme fundamentale ale economisirii energiei electrice în sistemele de transport şi distribuţie*. In: Conservarea energiei şi cooperarea internaţională, vol. II, publicată de ARM şi ASE, Bucureşti, 1981.
[18] Flissberg, G., Ekström, A. *HVDC substation design and development of conversion equipment*. In: Power Technology International, 1988, London.
[19] Harrisson, R. E. *Developments in the design of HVDC converter stations*. In: Power Technology International, 1988, London.
[20] Oliver, J. B. *Submarine cable systems old and new*. In: Power Technology International, 1988, London.
[21] Dimo, P. *Sistemul energetic planetar*. Ed. Academiei RSR, Bucureşti, 1988.
[22] Birfet, D. *HVDC link serves Corsica*. In: Modern Power Systems, no. 6, iun. 1988.
[23] Moraw, G., Wagner, E. *Interconnection between European Power Systems at Dürnrohr. Realization and Operating Experience*. In: VGB Kraftwerkstechnik, no. 2., feb. 1988.
[24] * * * *Dicţionar cronologic al ştiinţei şi tehnicii universale*. Ed. Ştiinţifică şi Enciclopedică, Bucureşti, 1979.

(Primit la 26 noiembrie 1988, acceptat la 16 decembrie 1988)

O posibilitate de estimare a daunelor economice provocate de abaterile de calitate a energiei electrice

Ş.l. dr. ing. MIHAELA IORDACHE *

Descriptori: energie electrică, abateri calitate, daune economice

CZ: 621.773

Se prezintă o metodologie de estimare a daunelor economice provocate de funcţionarea utilajelor industriale în condiţiile unui nivel mediu probabil al frecvenţei şi tensiunii de alimentare diferit de cel nominal. Metoda de calcul a fost aplicată în vederea exprimării analitice a daunelor de calitate în cazul concret al maşinilor unelte pentru prelucrat prin aşchiere.

An estimation method of the economic damage caused by the operation of industrial facilities at a variable probable mean level of the supply frequency and voltage, different from the rated one is presented. The computation method has been applied in order to express analytically the quality damages for the concrete case of metal cutting machines.

1. Premise care au stat la baza elaborării metodologiei

Problemele privind alegerea unei soluţii optime de alimentare cu energie electrică a consumatorilor industriali nu pot fi, de regulă, complet rezolvate în absenţa unor informaţii privind mărimea daunelor suportate la nivelul întreprinderilor, prin alimentarea acestora cu energie electrică de calitate scăzută.

În prezent nu există o metodologie unanim acceptată pentru calculul daunelor de calitate a energiei electrice (CEE). Unele metode de estimare a pagubelor economice datorate lipsei de calitate a energiei se bazează pe folosirea unor indicatori generalizaţi de daună, ceea ce poate conduce uneori la abateri exagerate faţă de realitate, mai ales în cazul unor între-

* S. l. dr. ing. Mihaela Iordache — Facultatea de Electrotenică şi Energetică, Institutul Politehnic Bucureşti

prinderi cu specific diferit de cel pentru care au fost determinați și apoi generalizați indicatorii specifici ai daunelor de calitate. Alte metodologii presupun folosirea în calculul daunelor de CEE a unor coeficienți sau exponenți deduși statistic, ceea ce este uneori greu de realizat în condițiile practicii industriale. Pe de altă parte, în astfel de situații, este mai dificil de delimitat ponderea diferiților factori ce contribuie la formarea daunelor, mai ales în cazul unor variații relativ restrînse și adeseori, concomitente, a mai multor indicatori de calitate a energiei electrice.

În cele ce urmează, se propune o metodologie de exprimare analitică a daunelor economice medii probabile cauzate de variații îndelungate ale nivelului frecvenței și/sau tensiunii de alimentare, bazată, în principal, pe folosirea unor date inițiale, cunoscute încă din faza de proiectare sau din alt regim de funcționare a instalației (de exemplu cel nominal), considerat de referință. Această metodologie constă în estimarea elementelor tehnico-economice necesare determinării variației beneficiului obținut de întreprinderea analizată sub influența condițiilor de alimentare cu energie electrică.

Diferența beneficiului realizat în condițiile unei alimentări de durată caracterizată prin variații ale frecvenței și tensiunii de la valorile nominale și, respectiv, în condiții de referință (în mărimi relative, $f = u = 1$), permite măsurarea eventualei pagube ($-DB$), suportată direct de întreprindere datorită calității necorespunzătoare a energiei de alimentare și, indirect, prin sistemul de penalizări și despăgubiri, reglementat de legea contractelor economice, include și pagube datorate terților.

Variația beneficiului sub influența condițiilor de alimentare se poate exprima astfel:

$$\pm DB = B - B_* = DVPM - DCC, \qquad (1)$$

în care:

$DVPM$ este variația valorii producției marfă față de valoarea din cazul considerat de referință;

DCC — variația costului complet al producției marfă față de costul din cazul considerat de referință.

Diversele componente ale acestei daune sînt estimate în cele ce urmează cu suficientă precizie pentru scopuri practice liniarizînd funcția care exprimă relația cauzală între variabilele aleatoare cauză (frecvență și tensiune) și variabila aleatoare efect (DB), prin dezvoltare în serie Taylor în imediata vecinătate a punctului avînd drept coordonate valorile medii ale nivelului de frecvență (f) și, respectiv, de tensiune (u) și reținînd doar termenii liniari.

Pentru exemplificare, metodologia propusă a fost aplicată în vederea estimării daunelor medii probabile de CEE în ramura construcțiilor de mașini și a prelucrării metalelor, la nivelul sectorului Prelucrări prin așchiere, în cadrul căruia ponderea principală în puterea instalată revine motoarelor asincrone (MAS).

2. Aplicarea metodologiei generale pentru estimarea daunelor de CEE, în cazul mașinilor unelte de prelucrat metale prin așchiere

Variația medie probabilă a beneficiului obținut de o întreprindere la realizarea producției sale marfă, comparativ cu beneficiul realizabil în condiții de alimentare de referință se poate pune sub forma generală:

$$\pm DB = B - B_* = \left(\sum_i^N q_i p_{p_i} - \sum_i^N \sum_g q_i c_{ig}\right) -$$

$$- \left(\sum_i^N q_{i*} p_{p_i} - \sum_i^N \sum_g q_{i*} c_{ig*}\right), \qquad (3)$$

în care:

q_i este cantitatea de produse din sortimentul i realizată în perioada i analizată, caracterizată prin nivelul mediu al frecvenței f_i, respectiv al tensiunii u_i;

p_{p_i} — prețul de producție al produsului de tip i, stabilit din afara întreprinderii, în general, pe considerente independente de condițiile de alimentare cu energie electrică;

c_{ig} — costul specific de tip g pentru realizarea produsului tip i, în condițiile frecvenței f_i, respectiv tensiunii u_i.

Observație: mărimile notate cu asterisc corespund regimului de referință.

În general, în cazul întreprinderilor cu profil de prelucrări mecanice este posibilă recuperarea producției nerealizate la termenul stabilit și astfel: *valoarea producției VPM realizată în diverse regimuri de alimentare studiate poate fi considerată aceeași cu cea din regimul de referință*. În această ipoteză, variația beneficiului sub influența condițiilor electrice de alimentare se poate exprima prin diferența costurilor de fabricație pe unitate de produs:

$$\pm DB = -\sum_i^N q_{ig} \sum_g (c_{ig} - c_{ig*}) = -\sum_i^N q_i \sum_g Dc_{ig}. \qquad (3)$$

Dînd valori lui g pentru un anumit produs i, se poate evidenția structura costurilor de producție [1, 3].

În ipoteza considerată, în care *este posibilă recuperarea* rămînerilor în urmă în realizarea

planului de producție în toate regimurile de alimentare studiate, cheltuielile directe pentru obținerea produsului i nu sînt afectate de variația condițiilor electrice de alimentare, deci :

$$Dc_{dir\,i} = 0.$$

Celelalte categorii de cheltuieli sînt afectate mai mult sau mai puțin de condițiile de calitate a energiei electrice, în funcție de specificul produsului realizat și al utilajelor implicate în procesul de producție, de organizarea muncii etc.

Luînd în considerare doar acele diferențe de cheltuieli care pot apărea ca urmare a variației indicatorilor CEE, relația (3), scrisă în condițiile realizării aceluiași volum planificat al producției, devine* :

$$\pm DB = -\sum_{i=1}^{N} (DCPW_i + DCUZ_i + DCREP_i + DREB_i + PEN_i) \qquad (4\,a)$$

sau :

$$\pm DB = -DCPW - DCUZ + DCREP - DREB - PEN. \qquad (4,\,b)$$

În continuare, este prezentat un mod de transpunere în formă matematică a relațiilor de dependență existente între aceste categorii ale costurilor de producție de condițiile de calitate a energiei electrice cu care sînt alimentate utilajele de producție. Variațiile de durată ale parametrilor f și u influențează asupra funcționării energotehnologice a ansamblului motor — mecanism antrenat, deci și asupra unor indicatori economici ai întreprinderii respective.

Prelucrările mecanice reprezintă un proces de producție complex, în cadrul căruia mai multe utilaje contribuie, în general, la realizarea mai multor sortimente de produse, diferite din punct de vedere constructiv și dimensional. În vederea exprimării analitice a fiecărui termen care intervine în relația (4) s-a presupus că pentru obținerea unui sortiment i de produse conlucrează K_i utilaje și pe fiecare utilaj k este necesară executarea a r_{ik} faze tehnologice, fiind implicate L_{ik} tipuri de scule așchietoare.

Pe baza studiilor efectuate [3] au fost stabilite următoarele relații de dependență, exprimate sub formă polinomială, în funcție de variabilele cauză f și u.

Variația medie probabilă a cheltuielilor anuale cu puterea și energia suportată de întreprinderea analizată, ca urmare a variației condițiilor de alimentare de la valorile nominale la valorile unui regim oarecare, poate fi exprimată astfel :

$$DCPW = CPW - CPW_* = c_P D(max\ P_{M_i}) + c_W \sum_{i=1}^{N} DW_i + c_Q \sum_{i=1}^{N} DW_{Ri}\ [\text{lei/an}], \qquad (5)$$

în care :

$$D(max\ P_{M_i}) = \left[C_{1k} C^2_{i\,ijk}\left(\frac{f_i^2}{u_i^2} - 1\right) + C_{2k}(f_i^2 - 1) + C_{3k} C_{i\,ijk}(f_i - 1) + C_{4k}\left(\frac{u_i^3}{f_i} - 1\right) + C_{5k}\left(\frac{u_i^2}{f_i^2} - 1\right) + C_{6k}(u_i^2 - 1)\right]_{max}, \ [\text{kW}]$$

$$DW_i = A_{1i}(f_i - 1) + A_{2i}\left(\frac{f_i}{u_i^2} - 1\right) + A_{3i}\left(\frac{1}{f_i} - 1\right) + A_{4i}\left(\frac{u_i^2}{f_i} - 1\right) + A_{5i}\left(\frac{1}{f_i^2} - 1\right) + A_{6i}\left(\frac{u_i^3}{f_i^2} - 1\right) + A_{7i}\left(\frac{u_i^2}{f_i^3} - 1\right), \ [\text{kWh}]$$

$$DW_{Ri} = A_{9i}\left(\frac{f_i^3}{u_i^4} - 1\right) + A_{10i}\left(\frac{f_i^2}{u_i^2} - 1\right) + A_{11i}\left(\frac{1}{f_i} - 1\right) + A_{12i}\left(\frac{u_i^3}{f_i^2} - 1\right) \ [\text{kvar}].$$

Variația medie probabilă a cheltuielilor anuale datorate uzurii sculelor așchietoare folosite în procesul de producție, ca urmare a variației indicatorilor CEE față de cazul considerat de referință, poate fi exprimată sub forma :

$$DCUZ = CUZ - CUZ_* = \sum_{i}^{N} q_i \left[\sum_{k=1}^{K_i}\sum_{l=1}^{L_{ik}} A_{13\,ikl}(f_i^{z_{ikl}-1} - 1) + \sum_{k=1}^{K_i} C_{7k} \sum_{l=1}^{L_{ik}} A_{14\,ikl}\left(\frac{f_i^{z_{ikl}}}{u_i^2} - 1\right) - \sum_{k=1}^{K_i} C^2_{7k} \sum_{l=1}^{L_{ik}} A_{15\,ikl}\left(\frac{f_i^{z_{ikl}+1}}{u_i^2} - 1\right)\right]\left[\frac{\text{lei}}{\text{an}}\right].$$

* Semnificația notațiilor folosite în această relație și în cele ce urmează este prezentată în finalul lucrării.

Gradul polinomului care aproximează variația cheltuielilor medii probabile cu uzura sculelor în funcție de condițiile de alimentare este condiționat de tipul sculelor folosite în procesul tehnologic, de materialul părții așchietoare și de materialul de prelucrat, exponentul z_{ikl} fiind uzual cuprins între 1,5 — 10 [2].

Variația medie probabilă a cheltuielilor cu reparațiile suportate de întreprindere datorită variației frecvenței și tensiunii se poate exprima luînd în considerare doar opririle neplanificate ale utilajului, datorită defecțiunilor direct dependente de f și u survenite la MAS, excluzîndu-se dintre acestea opririle datorate lipsei de energie provocate de întreruperile în alimentare sub acțiunea DASf. Celelalte elemente mecanice, hidraulice sau pneumatice ale mașinii-unelte nu sînt, de regulă, sensibil influențate de variațiile frecvenței și tensiunii de alimentare. În stabilirea relației de dependență a cheltuielilor DCREP de f și u s-a presupus, de asemenea, că restabilirea funcționării se realizează prin înlocuirea motorului defect cu unul de rezervă. A rezultat expresia :

$$DCREP = \sum_{i=1}^{N} (CREP_i - CREP_{*i}) =$$

$$= \sum_{i=1}^{N} \left[A_{16,i} \left(\frac{1}{f_i} - 1 \right) - A_{17,i} \left(\frac{f_i}{u_i^2} - 1 \right) + \right.$$

$$\left. + A_{18,i} \left(\frac{1}{u_i^2} - 1 \right) \right] [\text{lei an}]. \qquad (7)$$

Conform legislației actuale, nerespectarea obligațiilor contractuale împovărează bugetul de venituri și cheltuieli al întreprinderii vinovate de încălcarea prevederilor stabilite în contract cu penalizări și despăgubiri datorate întreprinderii prejudiciate. În cele ce urmează este prezentată doar acea categorie de penalizări suportate de întreprindere ca urmare a funcționării sale de durată cu valori ale frecvenței și/sau tensiunii diferite de nominal.

Chiar dacă întreprinderea analizată recuperează toate rămînerile în urmă în realizarea planului de producție, datorate productivității mai scăzute a utilajelor alimentate la un nivel al frecvenței de alimentare sub cel nominal, obținerea aceluiași volum de producție ca în condiții nominale de alimentare este posibilă numai prin creșterea timpului efectiv consumat pentru realizarea aceluiași efect util al utilajelor implicate în procesul de producție.

Pentru partenerii interni, de exemplu, prevederile legii contractelor referitoare la întîrzierea în livrare a unui sortiment de produse i pot fi astfel exprimate, în funcție de durata de depășire a termenului contractual (Dt_{ci}) :

$$PEN_{i(Dt_{ci} \leq 10)} = VPM_i \cdot 0{,}001 \cdot Dt_{ci} \quad [\text{lei/an}]$$

$$PEN_{i(10 < Dt_{ci} \leq 30)} = VPM_i [0{,}01 + 0{,}002(Dt_{ci} - 10)] \quad [\text{lei/an}]$$

$$PEN_{i(Dt_{ci} > 30)} = VPM_i [0{,}03 + 0{,}003(Dt_{ci} - 30)] \quad [\text{lei/an}] \qquad (8)$$

Variația timpului de realizare a producției, comparativ cu cel corespunzător regimului de referință se poate pune sub forma :

$$Dt_{ci} = t_{ci} - t_{ci*} = DT_{op,i} + DT_{dt,i} + DT_{in,i} \quad [\text{zile}] \qquad (9)$$

Variația cu frecvența și tensiunea de alimentare a *timpului operativ de lucru* ($DT_{op,i}$) este în principiu condiționată de variația timpului de bază necesar realizării sortimentului i în funcție de condițiile de alimentare. În cazul realizării lotului de produse tip i pe o linie tehnologică formată, de exemplu, din K_i utilaje înseriate din punct de vedere tehnologic, variația timpului operativ se poate exprima :

$$DT_{op,i} = A_{20,i} \left(\frac{1}{f_i} - 1 \right) + A_{21,i} \left(\frac{1}{u_i^2} - 1 \right) [\text{zile}]. \qquad (10)$$

Variația cu frecvența și tensiunea de alimentare a *timpului de deservire tehnică* a utilajelor de prelucrat prin așchiere ($DT_{dt,i}$) este condiționată, în principal, de variația timpului afectat întreținerii sculelor așchietoare. În cazul cel mai frecvent din practică, al schimbării sculelor individual, cînd fiecare dintre acestea ajunge la limita sa proprie de durabilitate, variația timpului de deservire tehnică se poate exprima astfel :

$$DT_{dt,i} = \frac{q_i}{1\,440} \left[\sum_{k=1}^{K_i} \sum_{l=1}^{L_{ik}} \alpha_{ikl} A_{13,ikl} (f_i^{z_{ikl}-1} - 1) + \right.$$

$$+ \sum_{k=1}^{K_i} C_{7k} \sum_{l=1}^{L_{ik}} \alpha_{ikl} A_{14,ikl} \left(\frac{f_i^{z_{ikl}}}{u_i^2} - 1 \right) -$$

$$\left. - \sum_{k=1}^{K_i} C_{7k}^2 \sum_{l=1}^{L_{ik}} \alpha_{ikl} A_{15,ikl} \left(\frac{f_i^{z_{ikl}+1}}{u_i^2} - 1 \right) \right] [\text{zile}]. \qquad (11)$$

Printre incidentele care condiționează timpul întreruperilor nereglementate ce revine sortimentului i de produse, în cele ce urmează interesează doar întreruperile datorate defecțiunilor direct dependente de influența variațiilor de frecvență și tensiune. Variația cu frecvența și

tensiunea a *timpului întreruperilor nereglementate* ($DT_{in,i}$), considerînd linia tehnologică de obținere a sortimentului i ca structură serie, se poate exprima astfel :

$$DT_{in,i} = A_{22,i}\left(\frac{1}{f_i} - 1\right) - A_{23,i}\left(\frac{f_i}{u_i^2} - 1\right) + A_{21,i}\left(\frac{1}{u_i^2} - 1\right) \text{ [zile]}. \quad (13)$$

Deși scăderea turației de lucru a mașinii sub influența scăderii frecvenței de alimentare este relativ redusă, rugozitatea suprafețelor prelucrate crește [2] și pot apărea situații în care calitatea produselor este afectată, ajungîndu-se astfel la rebuturi care sporesc daunele de CEE.

Diferitele componente ale daunei de calitate depind de specificul procesului tehnologic, de tipul materialului prelucrat și al sculelor folosite, de natura obligațiilor contractuale, fiind sensibil diferit de la ramură la ramură și, uneori, chiar în cadrul aceleiași ramuri [3].

În cadrul ramurii construcțiilor de mașini și a prelucrării metalelor, mărimea daunei de calitate suportată la nivelul sectorului prelucrări prin așchiere este condiționată, în principal, de variația cheltuielilor cu uzura sculelor și de mărimea penalizărilor și despăgubirilor datorate beneficiarilor pentru nerespectarea termenelor de livrare a produselor. Dacă procesul tehnologic nu permite recuperarea producției nerealizate la termen sau beneficiarii refuză recepționarea unor produse livrate cu mare întîrziere, apar daune economice datorate, în principal, nerealizării valorii planificate a producției marfă.

Concluzii

1. Gradul z al polinomului prin care se poate exprima analitic mărimea daunei în funcție de nivelul frecvenței, respectiv tensiunii de alimentare, precum și modul de exprimare a coeficienților care intervin (vezi lista notațiilor utilizate), sînt dependente de o multitudine de factori de influență, a căror stabilire și exprimare matematică nu este posibilă fără o tot mai strînsă colaborare tehnolog-energetician.

2. Daunele medii probabile estimate pentru un anumit domeniu de activitate nu sînt, în general, extrapolabile direct (nici ca expresie analitică, nici ca valoare specifică) în alte ramuri ale economiei naționale, decît cel mult pentru calcule orientative și numai în cazul unor procese tehnologice de același tip.

3. Metodologia cu caracter general, propusă pentru calculul daunelor de CEE permite elaborarea unor programe adecvate rezolvării pe calculator a unor cazuri concrete, în condițiile unei rapidități și precizii de calcul corespunzătoare necesităților practice.

O astfel de abordare a implicațiilor economice ale CEE, de la caz la caz, conduce, de regulă, la decizii de optimizare energotehnologică mai corecte decît folosirea unor indicatori generalizați ai daunelor CEE.

Lista principalelor notații utilizate

CEE — calitatea energiei electrice;

f_i, u_i — nivelul frecvenței, respectiv al tensiunii de alimentare, determinat ca valoare medie pentru perioada realizării sortimentului i de produse (unități relative);

DB — variația beneficiului sub influența abaterilor de frecvență și/sau tensiune;

$DCPW_i$ — variația cheltuielilor cu puterea și energia absorbită de la rețea pentru realizarea sortimentului i de produse, provocată de abaterile de frecvență și/sau tensiune;

$DCUZ_i$ — variația cheltuielilor determinate de uzura sculelor implicate în procesul tehnologic și de abaterile de frecvență și/sau tensiune;

$DCREP_i$ — variația cheltuielilor cu reparațiile utilajelor implicate în procesul tehnologic datorită abaterilor de frecvență și/sau tensiune, în perioada realizării sortimentului i de produse;

$DREF_i$ — variația cheltuielilor suportate de întreprindere ca urmare a rebutării unor piese din sortimentul i din cauza abaterilor de frecvență și/sau tensiune;

PEN_i — penalizări și despăgubiri datorate beneficiarilor sortimentului i de produse ca urmare a funcționării utilajelor implicate, la un nivel al frecvenței și/sau tensiunii diferit de cel nominal;

P_{Mi} — puterea maximă absorbită de la rețea în perioada respectivă;

W_i, W_{Ri} — energia activă, respectiv reactivă, consumată de la rețea pentru realizarea sortimentului i;

c_P, c_W, c_Q — prețuri pentru puterea și energia activă, respectiv reactivă;

$C_{1k} \ldots C_{7k}$ — constante ce se pot determina în funcție de parametrii electrici, corespunzători regimului nominal de funcționare a motorului asincron (MAS);

$C_{t,ijk}$ — constantă dependentă de parametrii regimului de așchiere al utilajului, stabiliți de tehnolog pentru regimul de alimentare de referință, corespunzătoare fazei j de realizare a sortimentului i pe utilajul k;

$A_{1t}, \ldots A_{24,t}$ — constante dependente de parametrii electrici ai MAS, stabiliți pentru regimul nominal de funcționare, precum și de parametrii regimului de așchiere al utilajului antrenat, stabiliți de proiectant pentru regimul de referință; constantele $A_{16,i} \ldots A_{18,i}$ și $A_{22,i} \ldots A_{24,i}$ reflectă în plus comportarea MAS din punct de vedere fiabilistic;

$A_{15,ikl} \ldots A_{15,ikl}$, α_{ikl}, z_{ikl} — constante caracteristice sculei așchietoare de tip l, dependente de tipul acestei scule, de materialul prelucrat, de parametrii electrici ai MAS în regim nominal și tehnologici ai regimului de așchiere, corespunzători sortimentului i, pe utilajul k.

Bibliografie

[1] * * * *Reguli de bază pentru planificarea, evidența și calcularea costurilor producției industriale*. În: Revista de contabilitate, martie—aprilie, 1980.

[2] Picoș, C. *Calculul adaosurilor de prelucrare și al regimurilor de așchiere*. Editura tehnică, București, 1974.

[3] Iordache, M. *Implicații tehnico-economice ale calității energiei electrice*. Teză de doctorat. IPB, 1987.

(Primit la 5 mai 1988, acceptat la 22 octombrie 1988)

Unele aspecte privind condițiile de racordare la sistem a unor generatoare de mare putere

Ing. MANFRED STEIN, dr. ing. GEORGE MORAITE,
ing. CHRISTIANA BĂRBULESCU *

Descriptori: sisteme electroenergetice, generatoare de mare putere

C.Z.: 621.311:621.313.12

Soluțiile de racordare și de exploatare a unor grupuri de mare putere prezintă unele condiții specifice determinate de sensibilitatea mărită a acestor tipuri de unități, față de solicitările ce apar în cazul unor scurtcircuite apropiate. În lucrare se analizează unele aspecte privind criteriile de alegere a schemelor de racordare la sistem și influența pe care o au schemele de funcționare asupra nivelului solicitărilor.

The solutions for the connection and operation of some high power units must apply to some specific conditions determined by the increased sensitivity of these units during stresses occuring in case of near-by shortcircuits. The report analyzes aspects of the choice criteria for the system connection schemes and the influence of these operation schemes on the stresses level these units are subject to.

Considerații generale

Scurtcircuitele apropiate de barele (bornele) blocurilor energetice de mare putere (în special scurtcircuitele polifazice) sînt potențial periculoase, atît pentru funcționarea stabilă a generatoarelor, cît și din punctul de vedere al solicitărilor mecanice pe care le pot determina în turbogeneratoare. Asemenea aspecte se fac remarcate în special în cazul centralelor nucleroelectrice (CNE).

În lucrarea de față se trec în revistă cîteva aspecte ale funcționării unor asemenea unități în cadrul sistemului energetic.

1. Aspectele problemei comportării grupurilor de mare putere ($P_N \geq 500$ MW) la scurtcircuite polifazice apropiate, în rețeaua de înaltă tensiune, au format obiectul cercetării în diverse țări, ajungîndu-se la un oarecare consens în ceea ce privește unele măsuri, și anume :

1.1. La ieșirea din sincronism a acestor grupuri, ca urmare a unor scurtcircuite polifazice apropiate, ele trebuie separate rapid și automat de la rețea, nefiind tolerate oscilații de mare amplitudine ale puterilor active la borne, deoarece acestea conduc la solicitări inadmisibile, în special ale arborelui turbinei.

Au fost realizate astfel protecții rapide și întrerupătoare cu timp de declanșare redus (sub 0,3—40 ms), care să realizeze deconectarea grupului în regim asincron după maximum 200—300 ms din momentul în care s-a produs scurtcircuitul.

1.2. Pentru evitarea ieșirii din sincronism a grupurilor s-au realizat protecții ultrarapide în rețea, care să separe circuitul cu defect în maximum 80—100 ms prin protecția de bază (250 ms prin protecția de rezervă).

1.3. S-au adoptat sisteme de înregistrare „on line" a eforturilor care solicită grupul generator în regimuri provocate de scurtcircuite în rețea, cu semnalizarea situațiilor în care se impune revizia anumitor componente ale grupului (în special turbina).

1.4. În unele situații s-a renunțat la adoptarea automaticii de linie pentru reanclanșarea rapidă după defecte polifazice admițîndu-se declanșarea definitivă. O astfel de soluție are însă implicații asupra stabilirii numărului de linii de evacuare a puterii din centrala respectivă.

2. Ținînd seama de aspectele menționate pot fi făcute și considerații privind numărul de grupuri dintr-o centrală care sînt pasibile a fi afectate simultan de un scurtcircuit polifazic apropiat.

Modurile de funcționare (de racordare) a grupurilor dintr-o centrală pot fi astfel clasificate :

a — fiecare grup este racordat printr-o linie aeriană bloc cu acestea pînă la o stație de sistem existentă situată la o anumită distanță (fig. 1) ;

b — grupurile sînt racordate cîte două sau trei la secții de bare diferite, racordate fiecare la sistem printr-un număr de linii (fig. 2) ;

c — toate grupurile din centrală funcționează în paralel pe barele stației centralei, care este racordată la sistem printr-un număr corespunzător de linii (fig. 3).

Fiecare dintre aceste tipuri de racord (sau de regimuri de funcționare) poate oferi avantaje și dezavantaje.

Unul din aspectele care intervin este și acela privind numărul mediu de scurtcircuite polifazice care sînt destul de apropiate de centrală pentru a prezenta un pericol potențial din acest punct de vedere.

Pentru efectuarea comparației schemelor din figurile 1, 2, 3 se va considera că pentru aprecierea nivelului de solicitare a grupurilor la scurtcircuit polifazic este indicat a se analiza tensiu-

* Ing. Manfred Stein, dr. ing. George Moraite, ing. Christiana Bărbulescu — Institutul de Studii și Proiectări Energetice, București.

nea remanentă „ΔU" care rămîne pe barele (bornele) blocurilor generator-transformator în momentul producerii defectului, această tensiune „ΔU" fiind un „măsurător" al intensității solicitării.

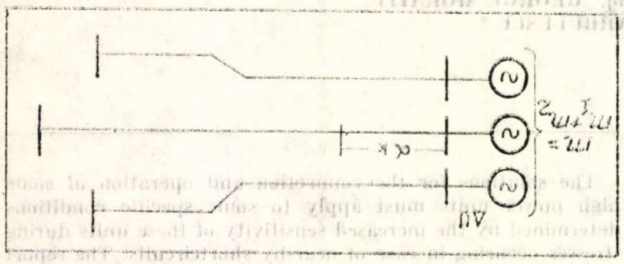


Fig. 1

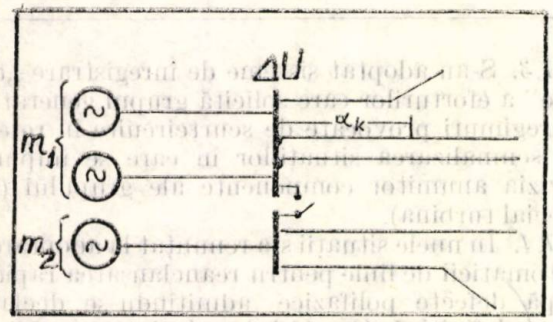


Fig. 2

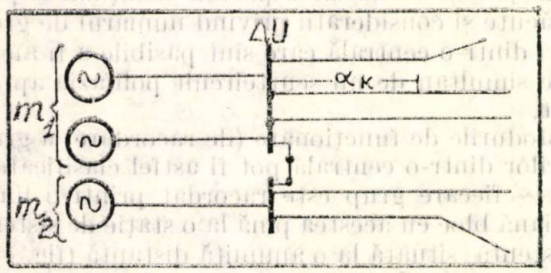


Fig. 3

Fie „α_k" distanța pe linii la care un scurtcircuit polifazic determină o tensiune „ΔU" periculoasă. Deci domeniul periculos pentru producerea unui scurtcircuit polifazic se determină din relația :

$$\Delta U \leqslant i_k \alpha_k x .10^{-3} (\text{kV}), \qquad (1)$$

în care :

i_k este curentul de scurtcircuit pe linie (A);

α_k — distanța care reprezintă domeniul (km) scurtcircuitelor periculoase ;

x — reactanța specifică a liniei (Ω/km).

Ținînd seama de relațiile cunoscute pentru calculul curenților de scurtcircuit (în cazul de față al celui trifazic) rezultă din relația (1) :

$$i_k \geqslant \frac{U_\Delta}{\sqrt{3}\left(\frac{U_\Delta^2}{\sum_{\substack{1\\ i\neq k}}^{n} S_i} + x\alpha_K\right)} \text{ (kA)}, \qquad (2)$$

în care :

x este reactanța liniei (Ω/km) ;

i_k — curentul de scurtcircuit trifazic pe linia „k" ;

n — numărul total de elemente racordate pe bare în presupunerea că toate aceste elemente reprezintă surse de curent de scurtcircuit ;

S_i — puterea de scurtcircuit trifazic furnizat de elementul „i" racordat la bare (MVA) ;

U_Δ — tensiunea între faze la bornele (barele) blocurilor (kV).

Căderea de tensiune pe linie la scurtcircuit, deci tensiunea remanentă la bornele blocurilor (bornele de racord) rezultă :

$$\Delta U_\Delta = \frac{\sqrt{3}\, U_\Delta}{\sqrt{3}\left(\frac{U_\Delta^2}{\sum_{\substack{1\\ i\neq k}}^{n} S_i} + x\,\alpha_k\right)} \alpha_k x. \qquad (3)$$

Distanța α_k se obține astfel :

$$\alpha_k = \frac{U_\Delta^2 \Delta U_\Delta}{(U_\Delta - \Delta U_\Delta)\cdot x \cdot \sum_{\substack{1\\ i\neq k}}^{n} S_i}. \qquad (4)$$

Dacă prin „λ" se notează frecvența de producere a unor scurtcircuite trifazice pe kilometru de linie aeriană și an atunci numărul mediu anual de scurtcircuite din toate domeniile periculoase „α_{tot}" va fi :

$$M[\nu(T)] = \alpha_{tot}\cdot \lambda T = \sum_{k=1}^{k=n-m} \alpha_k \cdot \lambda \cdot T \text{ (evenimente/an)}, \qquad (5)$$

în care :

α_{tot} este suma domeniilor periculoase ținînd seama de toate liniile racordate ;

n — numărul de blocuri generatoare ale centralei legate la aceeași bare ;

$T = 1$ an.

În final rezultă că numărul mediu de solicitări potențial periculoase este :

$$M[\nu(T)] = \lambda T \frac{\Delta U_\Delta U_\Delta^2}{(U_\Delta - \Delta U_\Delta)x} \sum_{k=1}^{k=n-m} \frac{1}{\sum_{\substack{1\\ i\neq k}}^{n} S_i}. \qquad (6)$$

3. Aplicînd această relație în fiecare dintre schemele din figurile 1,2 și 3 se obține numărul de solicitări potențial periculoase, admițînd o valoare limită pentru ΔU.

Schemele de racord din figurile 1, 2, 3

3.1. Pentru schema din figura 1 : $k = n - m = 1$ ($n = 2$, $m = 1$).
Relația 6 se scrie în acest caz astfel :

$$M_1[\nu(1)] = \lambda \frac{\Delta U_\Delta U_\Delta^2}{(U_\Delta - \Delta U_\Delta).x} \cdot \frac{1}{S_G}, \qquad (7)$$

în care :
S_G este puterea de scurtcircuit trifazic furnizată de un generator (MVA).
Număr de mașini expuse simultan : una.

3.2. Pentru schema din figura 2, relația (6) se aplică separat fiecărei secții de bare separate între ele printr-o cuplă deschisă :

$$M_{2a}[\nu(1)] = \lambda \frac{\Delta U_\Delta U_\Delta^2}{(U_\Delta - \Delta U_\Delta).x} \sum_{k=1}^{k=n_1-m_1} \frac{1}{\sum_{1}^{n_1} S_i}, \qquad (8)$$

$$M_{2b}[\nu(1)] = \lambda \frac{\Delta U_\Delta U_\Delta^2}{(U_\Delta - \Delta U_\Delta)\cdot x} \sum_{k=1}^{k=n_2-m_2} \frac{1}{\sum_{\substack{1 \\ i\neq 1}}^{n_2} S_i}. \qquad (9)$$

Numărul total de evenimente va fi :

$$M_2[\nu(1)] = M_{2a} + M_{2b}. \qquad (10)$$

Numărul total de mașini expuse simultan : m_1, respectiv m_2.

3.3. Pentru schema din figura 3, relația (6) devine :

$$M_3[\nu(1)] = \lambda \frac{\Delta U \cdot U_\Delta^2}{(U_\Delta - \Delta U_\blacktriangle)\cdot x} \cdot \sum_{k=1}^{k=(n_1+n_2)-(m_1+m_2)} \cdot \frac{1}{\sum_{\substack{1 \\ i\neq k}}^{n_1+n_2} S_i}. \qquad (11)$$

Numărul de mașini expuse simultan : $(m_1 + m_2)$.

4. Din relațiile 7—11 rezultă că, în funcție de puterile de scurtcircuit furnizate de generator și linii, precum și de numărul lor racordat pe fiecare secție de bare, pot apărea anumite diferențe privind numărul de solicitări periculoase pentru stabilitatea în funcționare și mecanică a mașinilor racordate.

Chiar în cazurile în care numărul total de solicitări ale celor „m" grupuri racordate într-una din variantele prezentate este fie mai redus, fie practic egal între variante, dar afectînd simultan un număr mai redus de generatoare (acest număr crește de la varianta din figura 1 la varianta din figura 3), soluția de adoptat nu poate fi selectată numai în baza acestor considerente, deși și acest aspect trebuie avut în vedere.

În anexa 1 se prezintă un calcul de exemplificare pentru cazul unei centrale cu două grupuri și patru linii.

Între factorii foarte importanți care intervin sînt și criteriile de asigurare a condițiilor impuse de considerentele de stabilitate statică care pot determina alegerea variantei de funcționare pentru o schemă dată sau mărirea numărului de linii de evacuare a puterii în cazul variantei de funcționare conform figurii 2.

Indiferent, însă, de faptul că se funcționează o perioadă mai lungă sau mai scurtă de timp într-o schemă cu barele secționate este necesar a fi îndeplinite toate condițiile pentru funcționarea în paralel a tuturor grupurilor din centrală, atît din punctul de vedere al performanțelor aparatajului, cît și din cel al asigurării grupurilor și a celorlalte elemente din stația de racord cu protecții corespunzătoare.

Totodată, trebuie avut în vedere faptul că, deși soluția din figura 1 este favorabilă din punctul de vedere al numărului de grupuri care pot fi afectate simultan de defecte, orice defect polifazic pe linia de racord bloc cu generatorul determină deconectarea acestuia de la rețea, indiferent de locul în care s-ar produce. Evident că din acest punct de vedere distanța de racord joacă un rol esențial, ca de altfel și alte criterii privind, de exemplu, necesitatea și volumul echipamentelor de comutație de la bornele blocului, posibilitatea de întreținere și reparare a acestora fără afectarea disponibilității de funcționare a blocului.

Relațiile de calcul prezentate oferă posibilitatea preliminării numărului mediu anual de evenimente potențial periculoase în diferite scheme de funcționare, deci obținerea unei informații utile pentru opțiunea asupra unuia sau altuia dintre regimurile de funcționare a centralei. Asemenea date sînt însă utile și pentru alegerea performanțelor instalațiilor de protecție și de automatizare destinate a acționa la apariția unor asemenea evenimente.

Deoarece, așa cum rezultă din cele menționate, vor exista cazuri, mai mult sau mai puțin frecvente (în funcție de schema de racordare), de deconectare prin protecție de la rețea a grupurilor din motive exterioare acestora (inclusiv în cazul unor evenimente de felul celor discutate anterior), se impune acordarea unei atenții sporite, păstrării în funcțiune a grupurilor pe con-

sumul de servicii proprii, pînă la resincronizarea lor.

Deci, posibilitatea insularizării pe consumul serviciilor proprii ale grupurilor (în special a celor din CNE) pe o perioadă relativ scurtă, trebuie să fie analizată cu mare atenție în vederea luării tuturor măsurilor necesare în schemele termomecanice și de automatizare, care să favorizeze acest regim de funcționare.

ANEXA 1

Pentru exemplificarea calculului se consideră o centrală echipată cu două grupuri de mare putere racordate la sistemul energetic prin patru linii aeriene, conform schemei din figura 4.

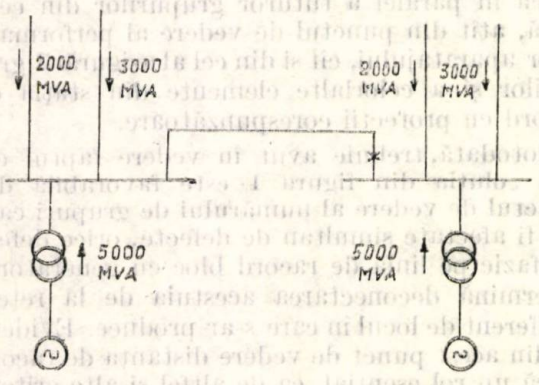
Aportul de putere de scurtcircuit trifazic al fiecăruia dintre cele șase elemente este indicat în schemă.

Tensiunea remanentă minimă admisibilă pe barele centralei:

$$\Delta U = 0{,}7\ U;\quad U = 400\ \text{kV}.$$

Reactanța kilometrică a liniei: $x = 0{,}4$ ohm/km.

Intensitatea de avariere a liniei de 400 kV: $\lambda = 0{,}005$/an, km. Se cere compararea numărului mediu de evenimente potențial periculoase (apariția unor scurtcircuite trifazice



F.g. 4

care determină tensiuni remanente pe bare mai mici decît „ΔU") în două variante de funcționare:

— cu cuplă longitudinală deschisă;

— cu cuplă longitudinală închisă.

Calculul se va efectua pentru o perioadă $T = 10$ ani.

Varianta cu cuplă deschisă

Conform relației (6) și ținînd seama că în această variantă $n = 3$, $m = 1$:

$$M[v(T)] = 0{,}005 \times 10\,\frac{280 \times 160\,000}{120 \times 0{,}4}\left(\frac{1}{7\,000} + \frac{1}{8\,000}\right) = 12{,}5$$

evenimente pe 10 ani pe una dintre secțiile de bare.

Pentru ambele grupuri rezultă deci în medie $2 \times 12{,}5 = 25$ solicitări simultane ale cîte unui grup, potențial periculoase într-o perioadă de 10 ani.

Varianta cu cuplă închisă

În acest caz, $n = 6$ și $m = 2$, astfel că utilizînd aceeași relație (6) se obține:

$$M[v(T)] = 0{,}005 \times 10\,\frac{280 \times 160\,000}{120 \times 0{,}4}\left(\frac{1}{17\,000} + \frac{1}{180\,000} + \frac{1}{170\,000} + \frac{1}{180\,000}\right) \simeq 11$$

evenimente de solicitări a cîte două grupuri simultan (potențial periculoase) într-o perioadă de 10 ani.

(Se remarcă faptul că numărul mediu de evenimente crește cu valoarea admisă pentru „ΔU").

Concluzii

În materialul prezentat s-a urmărit atragerea atenției în special asupra următoarelor aspecte:

— la grupurile de mare putere, riscul unor defecțiuni majore ale turbogeneratoarelor, în cazul unor scurtcircuite apropiate, este mărit și de aceea asemenea evenimente trebuie analizate cu atenție, atît sub aspectul prevederii unor sisteme de protecție adecvate, cît și sub acela al repercusiunilor schemei de funcționare a instalației de racord la sistem, asupra frecvenței lor de apariție și numărului de grupuri simultan afectate. În acest sens, cuantificarea apariției de asemenea evenimente, pentru diferite scheme de funcționare, constituie o informație utilă;

— racordarea directă a fiecărui bloc într-o stație de sistem existentă este o soluție particulară, care în unele situații specifice, cum ar fi amplasarea centralei la distanță considerabilă față de rețeaua de transport, trebuie avută în vedere;

— instalațiile de racord la sistem trebuie dimensionate pentru condiții de funcționare în paralel pe bare a tuturor grupurilor din centrală, indiferent de faptul că este posibilă (sau oportună) funcționarea, pe anumite durate, cu secționarea schemei. Pentru acest ultim regim de funcționare, trebuie verificate în mod special condițiile de stabilitate statică pentru evacuarea puterii și compensarea energiei reactive prin bobine de reactanță pe fiecare secție a barelor.

(Primit la 9 septembrie 1988, acceptat la 3 noiembrie 1988)

Model matematic şi program de calcul pentru evaluarea componentelor de daună provocată la întreruperea alimentării cu energie electrică a consumatorilor din construcţia de maşini

Ş.l. dr. ing. IOAN FELEA, ş.l. ing. ZOLTAN ZALÁNYI*

Descriptori : alimentare cu energie electrică, consumatori industriali, daune economice, modele matematice

CZ: 621.311

În cadrul lucrării sînt evidenţiate relaţiile matematice aplicate pentru evaluarea componentelor şi subcomponentelor de daună provocată la întreruperea, cu sau fără prevenire, a energiei electrice la nivelul receptoarelor şi grupelor de receptoare din cadrul întreprinderilor constructoare de maşini. Prin efectuarea de analize aprofundate, cu considerarea factorilor tehnologici, energetici şi organizatorici, sînt identificate un număr minim de relaţii (30) primare pentru evaluarea subcomponentelor daunei, pe baza cărora se determină componentele de daună pe tipuri de receptoare specifice domeniului analizat. Rezultatele obţinute la nivelul receptoarelor sînt utilizate pentru evaluări la nivelul grupelor de receptoare. Pentru facilitarea aplicării operative a algoritmului prezentat s-au întocmit două programe de calcul (CCDR şi CCDG), pentru evaluări la nivelul receptoarelor şi respectiv al grupelor de receptoare.

The report outlines the mathematical relations used for the evaluation of the damage components and sub-components caused by notified or non-notified electricity cut-outs for receivers or receiver groups of the machine manufacturing enterprises. By carrying out extensive analyses, considering technological, energetic and organisatoric factors, a minimal number (30) of primary relations for the damage sub-components evaluation are identified. They help to determine the damage components for every receiver type specific for the analysed field. The results obtained at the receivers' level are used for evaluation at the level of receiver groups. In order to facilitate an operative application of the algorithm two computer programs (CCDR and CCDG) for evaluations at the level of the receiver and of the group of receivers have been set up.

Stabilirea soluţiilor optime sub aspect economic pentru sistemele de alimentare cu energie electrică (EE) implică şi cunoaşterea daunei provocată de întreruperea cu şi fără prevenire a EE. Determinarea daunei presupune efectuarea de studii detaliate la nivelul receptoarelor şi grupelor de receptoare [1, 2, 4, 5, 7], cu considerarea caracteristicilor energetice, tehnologice şi a aspectelor organizatorice specifice pe ramuri industriale şi chiar unităţi economice. Astfel de investigaţii [1, 2, 3, 6] denotă faptul că la nivelul receptoarelor şi frecvent al grupelor de receptoare (inclusiv la nivelul întreprinderilor) din domeniul construcţiilor de maşini, pentru evaluarea daunei totale trebuie avute în vedere numai următoarele componente : D_1 — consum suplimentar de energie ; D_2 — consum suplimentar de materii prime şi auxiliare şi respectiv D_4 — valoarea forţei de muncă retribuită suplimentar, ca urmare a întreruperii alimentării cu EE.

Caracteristicile de daună pe tipuri de receptoare şi grupe de receptoare specifice întreprinderilor constructoare de maşini sînt prezente în [2, 3]. Prezenta lucrare evidenţiază relaţiile matematice de bază (primare), pentru evaluarea componentelor şi subcomponentelor de daună provocată de întreruperea fără prevenire (DA) şi cu prevenire (DP) a EE, la categoriile tehnologice de receptoare din domeniul analizat. De asemenea, se dau relaţiile de calcul ale timpului de prevenire caracteristic (TRRC) şi timpului de revenire tehnologică (TTH), funcţie de durata întreruperii EE (TE). În scopul efectuării de evaluări rapide, funcţie de caracteristicile concrete şi structură, s-au întocmit două programe de calcul în limbaj FØRTRAN. Pentru a facilita elaborarea şi aplicarea programelor de calcul, în cadrul relaţiilor matematice s-au utilizat notaţii specifice limbajului FØRTRAN.

1. Relaţii pentru evaluarea subcomponentelor de daună

Prin compararea şi comasarea relaţiilor aplicate pentru determinarea subcomponentelor de daună care intervin la întreruperea alimentării cu EE a receptoarelor din categoria tehnologică „1" şi „2" [2, 3], se obţin următoarele relaţii independente :

(1) Pl. T1. KE/T2 ; (2)P1(1 − TC1/T2) T1.KE ;
(3) (P2.KE + Q1. V1) T3/T4 ;
(4) (P5.T5 + P6.T6 + P7.T7)KE ; (5) ΣQ2i.V2i ;
(6) P8.T8.KE ;

* Ş.l. dr. ing. Ioan Felea, ş.l. ing. Zoltan Zalányi — Institutul de Subingineri Oradea.

(7) P9.T9.KE ; (8) $\Sigma Q3i.V3i$; (9) N1.SM ; (10) N3.SM.T9 ;
(11) N2.SM.T8 ; (12) K1.Q4.V4 ; (13) VA1. V5. (15) CP1/CP2 ;
(14) (P3.KE + Q6.V6)T10/T11 ; (16) CP3/CP2 ;
(17) PR.NP.KE ΣEj = PR.EI ; (18) PR.NPΣ mj = PR.N ; (19) Q1.V1.T3/T4 ;
(20) PR.CM.ED.KE ; (21) PR.CM.ER.KE ; (22) PR.CM.MR ;
(23) PR.CM.NR ; (24) (1—PR) ; (25) PR.VS ; (26) P5.T5.KE ; (27) P6.T6.KE ;
(28) N4.SM.T5 ; (29) N5.SM.T6 ; (30) (N4.T5 + + N5.T6 + N6.T7)SM

COD RECEPTOR	VALORI ALE DURATEI DE ÎNTRERUPERE (TE)	COMPONENTELE DAUNEI LA ÎNTRERUPERE FĂRĂ PREVENIRE „DA"	TIMPUL DE PREVENIRE CARACTERISTIC (TPRC) ŞI DAUNA (DP) LA ÎNTRERUPEREA DUPĂ (TPRC)	TIMPUL DE REVENIRE TEHNOLOGICĂ
1	2	3	4	5
1.1.	< TC1	$D1=[(1)+(3)]\cdot TE\cdot E+(9)TE\cdot m$	$TPRC=TT$ $DP=[(3)TE+(6)+(7)]E+$ $+(8)M+[(9)TE+(10)+(11)]m$	$TTH1=\frac{T1}{T2}\cdot TE$
	= TC1	$D2=D1+[(2)+(4)]E+(5)M+(30)m$		
	< TC2	$D3=D2+(3)[TE-TC1]\cdot E+(9)[TE-TC1]m$		$TTH2=TTH1+T5+T7$
	= TC2	$D4=D3+[(6)+(7)]\cdot E+(8)M+[(10)+(11)]m$		
	> TC2	$D5=D4+(3)[TE-TC2]\cdot E+(9)[TE-TC2]m$		$TTH3=TTH2+T8+T9$
1.2.	< TC	$D1=[(1)+(3)+(14)]TE\cdot E+(13)\cdot TE\cdot M+(9)TE\cdot m$	$TPRC=TEB+TT$ $DP=\{[(3)+(14)]TE+(4)\}\cdot E+$ $+(5)M+(9)TE\cdot m$	$TTH=T5+T7$
	= TC	$D2=D1+(4)E+(5)M+(10)m$		
	> TC	$D3=D2+[(3)+(14)][TE-TC)]\cdot E+(9)[TE-TC]m$		
1.3.	< TC	$D1=[(1)+(3)]TE\cdot E+(9)TE\cdot m$	$TPRC=TEB+TT$ $DP=(3)TE\cdot E+(9)TE\cdot m$	$TTH=\frac{T1}{T2}\cdot TE$
	= TC	$D2=D1+(5)M$		
	> TC	$D3=[(1)+(3)]TE\cdot E+[(5)+(12)(TE-TC)]M+(9)m$		
1.4.	< TC	$D1=[(1)+(3)]TE\cdot E+(9)TE\cdot m$	$TPRC=TT$ $DP=[(1)+(3)]TE\cdot E+(9)TE\cdot m$	$TTH=\frac{T3}{T4}\cdot TE+T7$
	= TC	$D2=D1+(6)\cdot(15)E+(5)\cdot(15)M+(11)(15)m$		
	> TC	$D3=D2+[(1)+(3)][TE-TC]E+(9)(TE-TC)m$		
1.5.	< TC1	$D1=[(1)+(3)+(14)]TE\cdot E+(13)\cdot TE\cdot M+(9)Te\cdot m$	$TPRC1=TT$; pt. $TPR\in[TPRC1;TPRC2]$ $DP=DA(1.2)$ unde, $TC=TC1$ $TPRC2=TT+TEB$; pt. $TPR\geq TPRC2$ $DP=\{[(3)+(14)]TE+(4)\}E+(5)M+(9)TE\cdot m$	$TTH=TTH(1.2)+T7$
	= TC1	$D2=D1+(4)E+(5)M+(10)m$		
	< TC2	$D3=D2+[(3)+(14)][TE-TC1]E+(9)[TE-TC1]m$		
	= TC2	$D4=D3+(4)(15)E+(5)(15)M+(10)(15)m$		
	< TC3	$D5=D4+[(3)+(14)][TE-TC2]E+(9)(TE-TC2)m$		
	= TC3	$D6=D5+(4)\cdot(16)E+(5)\cdot(16)M+(10)\cdot(16)m$		
	> TC3	$D7=D6+[(3)+(14)][TE-TC3)E+(9)(TE-TC3)m$		
1.6	< TC1	$D1=[(1)+(3)]TE\cdot E+(9)TE\cdot m$	$TPRC1=TT$; pt. $TPR\in[TPRC1,TPRC2]$ $DP=DA(1.3)$, unde, $TC=TC2$ $TPRC2=TT+TEB$; pt. $TPR\geq TPRC2$ $DP=(3)TE\cdot E+(9)TE\cdot m$	$TTH=\frac{T1}{T2}TE+T7$
	= TC1	$D2=D1+(6)\cdot(15)E+(5)\cdot(15)M+(11)\cdot(15)m$		
	< TC2	$D3=D2+[(1)+(3)](TE-TC1)E+(9)(TE-TC1)m$		
	= TC2	$D4=D3+(5)M$		
	> TC2	$D5=D4+[(1)+(3)](TE-TC2)E+(12)M+(9)(TE-TC2)m$		
1.7	< TC1	$D1=(1)TE+(9)TE\cdot m$	$TPRC=2T8$ $DP=(1)TE\cdot E+(9)TE\cdot m$	$TTH=\frac{T1}{T2}TE+T8$
	= TC1	$D2=D1+(6)E+(11)m$		
	< TC2	$D3=D2+(1)(TE-TC1)E+(9)(TE-TC1)m$		
	= TC2	$D4=D3+(17)E+(18)m$		
	> TC2	$D5=D4+(1)(TE-TC2)E+(9)(TE-TC2)m$		
1.8	< TC1	$D1=(1)TE\cdot E+(9)TE\cdot m$	$TPRC=2T8$ $DP=(1)TE\cdot E+(9)TE\cdot m$	$TTH=\frac{T1}{T2}TE+T8$
	= TC1	$D2=D1+(6)E+(11)\cdot m$		
	< TC2	$D3=D2+(1)(TE-TC1)E+(9)(TE-TC1)m$		
	= TC2	$D4=D3+(17)E+(18)m+(5)M$		
	> TC2	$D5=D4+(1)(TE-TC2)E+(9)(TE-TC2)m$		
1.9	< TC	$D1=(1)TE\cdot E+(9)TE\cdot m$	$TPRC=2T8$ $DP=(1)TE\cdot E+(9)TE\cdot m$	$TTH=\frac{T1}{T2}TE+T8$
	= TC	$D2=D1+(6)E+(11)m$		
	> TC	$D3=D2+(1)(TE-TC)E+(9)(TE-TC)m$		

(continuare tabel 1)

1	2	3	4	5
10	< TC	$D1 = (3)TE \cdot E + (9)TE \cdot m$	$TPRC = T8$ $DP = (1)TE \cdot E + (9)TE \cdot m$	$TTH = \frac{T1}{T2} \cdot TE$
	= TC	$D2 = D1 + [(20) + (21)]E + (22)M + (23)\,m$		
	> TC	$D3 = D2 + (3)(TE - TC)E + (9)(TE - TC)\,m$		
1.11	= TC	$D1 = (6)E$	$TPRC = T8$ $DP = (9)TE \cdot m$	$TTH = T7 + T8$
	> TC	$D2 = (6)E + (9)TE \cdot m$		
1.12	= TC	$D1 = [(6) + (20) + (21)]E + (22)M + (23)\,m$	$TPRC = T8$ $DP = (9)TE \cdot m$	$TTH = T7 + T8$
	> TC	$D2 = D1 + (9)TE \cdot m$		
1.13	= TC	$D1 = (17)E + (5)M + (18)\,m$	$TPRC = T8$ $DP = (19)TE \cdot E + (9)TE \cdot m$	$TTH = T5 + T7 + \frac{T3}{T4} \cdot TE$
	> TC	$D2 = D1 + (19)TE \cdot E + (9)TE \cdot m$		
1.14	< TC	$D1 = (1)TE \cdot E + (9)TE \cdot m$	—	$TTH = \frac{T1}{T2} \cdot TE$
	= TC	$D2 = (3)TC \cdot E + (9)TC \cdot m$		
	> TC	$D3 = D1 + (9)(TE - TC) \cdot m$		
2.1	= $8{,}33 \cdot 10^{-4}$ h	$D1 = [(6) + (7)]E + [(11) + (10)] \cdot m$	$TPRC = T5;\ DP = (6)E + [(11) + (9) \cdot TE] \cdot m$	$TTH = T7 + T8$
2.2	= $8{,}33 \cdot 10^{-4}$ h	$D1 = (6)E + (11)\,m$	$TPRC = T5;\ DP = (6)E + [(11) + (9) \cdot TE] \cdot m$	$TTH = T7 + T8$
2.3	= $8{,}33 \cdot 10^{-4}$ h	$D1 = (6)E + (25)M + [(11) + (10)(24)]\,m$	$TPRC = T5;\ DP = (6)E + [(11) + (9) \cdot TE] \cdot m$	$TTH = T7 + T8$
2.4	= $8{,}33 \cdot 10^{-4}$ h	$D1 = [(6) + (7)]E + (25)M + [(11) + (10)(24)]\,m$	$TPRC = T5;\ DP = (6)E + [(11) + (9) \cdot TE] \cdot m$	$TTH = T7 + T8$
2.5	= $8{,}33 \cdot 10^{-4}$ h	$D1 = [(6) + (7) + (26) + (27)]E + (25)M + [(11) + (10) \times (24) + (28) + (29)]\,m$	$TPRC = T5;\ DP = (6)E + [(11) + (9) \cdot TE]\,m$	$TTH = T7 + T8 + T5 + T6$
2.8	> $8{,}33 \cdot 10^{-4}$ h	$D1 = (9)TE \cdot m$	—	$TTH = T7 + T8$
2.1 ÷ 2.5	> $8{,}33 \cdot 10^{-4}$ h	$D2 = (9)TE \cdot m + D1$	$TPRC = T5;\ DP = (6)E + [(11) + (9) \cdot TE] \cdot m$	$TTH = T7 + T8$

Notațiile introduse în relațiile (1) — (30) au următoarele semnificații :

— *Puteri medii absorbite* [*kW*] :

P1 — la funcționarea cuptorului sau băilor electrolitice sau la menținerea cuptorului de inducție ;

P2 — la funcționarea oalei de turnare sau a injectoarelor de la cuptoarele termice pentru tratament ;

P3 — la injectorul antecreuzetului ;

P5 — pentru golirea cuptorului de inducție sau rebobinare masă magnetică la mașina de rectificat sau reprogramarea mașinilor cu comandă numerică sau la funcționarea ventilatorului ;

P6 — pentru rectificare sculă sau prelucrare șarjă rebutată ;

P7 — pentru umplere cuptor sau cubilou ;

P8 — la pornirea lentă a cuptorului de inducție sau pentru funcționarea cuptorului sau la pornirea mașinilor unelte ;

P9 — pentru „reștampare" sau recondiționare sculă deteriorată.

— *Intervale de timp* [*h*] *pentru* :

T1 — încălzire (de la temperatura mediului pînă la temperatura de lucru) a cuptorului sau băii electrolitice ;

T2 — răcire (de la temperatura de lucru la temperatura mediului) a cuptorului sau băii electrolitice și respectiv pentru rectificare sculă la mașina de rectificat ;

T3, T4 — încălzire (T3) și respectiv răcire (T4) la oala de turnare sau baie electrolitică ;

T5 — golire (oală de turnare), rebobinare sau reprogramare (mașini unelte) sau preîncălzire prin arderea cocsului (cubilou) ;

T6 — prelucrare șarjă rebutată sau rectificare sculă ;

T7 — umplere ;

T8 — pornire lentă (cuptor de inducție) încălzire sau menținere (cuptoare) sau pornire (mașini unelte) ;

T9 — „reștampare" (cuptor), reluare proces (cubilou) sau reparare (mașini unelte) ;

T10, T11 — încălzire (T10) și respectiv răcire (T11) antecreuzet ;

TC1 — moment critic.

— *Număr de persoane* afectate pentru :

N1 — deservirea mașinii de lucru ;

N2 — pornire lentă cuptor, deservire la funcționare normală sau pornire (mașini-unelte) ;

N3 — „reștampare" (cuptor), reparare sculă (mașini unelte) sau deservire la reluare proces (cubilou) ;

N4 — golire, rebobinare sau reprogramare ;

N5 — rectificare sculă sau prelucrare șarjă rebutată ;

N6 — umplere.

— *Valori materiale, energetice sau de manoperă* pentru :

N — manopera înglobată în șarja rebutată [lei];

mj — manopera prestată în faza „j" de prelucrare a unității de produs [lei];

EI — energia înglobată în șarja rebutată [lei];

Ej — energia consumată în faza „j" de prelucrare a unității de produs [kWh];

V1 — combustibil lichid, abur sau EE [lei/m^3, lei/kWh];

V2i — material (i) consumat la golire sau întrerupere cuptor, cubilou sau baie [lei/kg];

V3i — material (i) pentru „reștampare" cuptor [lei/kg];

V4, V5 — feroaliaje (V4) și respectiv cocs (V5) consumate suplimentar [lei/kg];

V6, V8 — combustibil, abur sau energie electrică (V6) și siliciu (V8) consumate suplimentar [lei/m^3; lei/kWh; lei];

MR, NR — materiale (MR) și respectiv manoperă (NR) pentru returnare piesă forjată rebutată [lei/kg];

KE — prețul de cost mediu al EE[lei/kWh];

SM — retribuția medie orară [lei/h].

— *Cantități sau capacități de* :

Q1, Q6 — combustibil lichid, abur sau putere electrică [m^3/h; kW];

Q2i — material (i) consumat la golire sau întrerupere cuptor, cubilou sau baie [kg];

Q3i — material (i) la „reștampare" cuptor [kg];

Q4 — feroaliaje consumate suplimentar [kg/h];

VA1 — viteza de ardere a cocsului în cubilou [kg/h];

ED, ER — energie suplimentară pentru debitarea semifabricatului înaintea forjării (ED) și pentru returnare după rebutare (ER) la forjare [kWh/kg];

NP — numărul unităților de produs dintr-o șarjă [buc.];

CP1, CP2, CP3 — capacitate oală de turnare (CP1), cuptor sau cubilou (CP2) și antecreuzet (CP3) [kg];

K1 — proporția de feroaliaje completate;

PR — probabilitatea de rebut.

În programul de calcul relațiile (5) și (8) se introduc ca valori globale, precalculate, iar relațiile (17) și (18) în forma simplificată.

2. Evaluarea componentelor daunei pentru receptoare și grupe de receptoare

Expresiile daunelor provocate de întreruperile fără prevenire (DA) și cu prevenire (DP) ale EE, la nivelul receptoarelor se prezintă în tabelul 1 sub formă polinominală, pentru diferite valori ale duratei de întrerupere. În cadrul expresiilor respective coeficienții variabilelor E, M și m reprezintă valorile componentelor D_1, D_2 și D_4 ale daunei. Codificarea receptoarelor are semnificația menționată în [2, 3]. Pe lîngă expresiile daunelor totale (D1 — D7) în tabelul 1 se dau și relațiile de calcul al timpului de prevenire caracteristic (TPRC) și de revenire tehnologică (TTH). Față de mărimile înglobate în relațiile (1) ÷ (30) pentru efectuarea evaluărilor cuprinse în tabelul 1 se mai impune precizarea valorilor următoarelor mărimi :

TC; TC2; TC3 — momente critice [h];

TEB; TT — durata elaborării (TEB) și respectiv turnării (TT) [h].

Rezultatele obținute la nivel de receptoare permit determinarea componentelor daunei pentru grupe de receptoare. În acest cadru prin grupă de receptoare se înțelege totalitatea receptoarelor racordate la o bară a sistemului de distribuție al EE sau aparținînd unei grupe de mașini, linii tehnologice și chiar întreprinderi în ansamblu. Pentru grupa de receptoare „K" se efectuează inventarierea acestora, stabilindu-se :

NKi — numărul receptoarelor de același tip (cu caracteristici identice);

TK — numărul tipurilor de receptoare;

PKi — probabilitatea ca un receptor de tipul „i" să se afle în funcțiune în momentul întreruperii alimentării cu EE;

TCj = (TCO < TC1 < ... < TCJ) — momentele critice corespunzătoare tipurilor de receptoare din grupa respectivă, ordonate strict crescător (TCO = $8{,}33 \cdot 10^{-4}$h; $J \leqslant 10$ [2]).

La fiecare tip de receptor, pe baza relațiilor (1) — (30) și a celor din tabelul 1, se determină pentru componentele D_1, D_2, D_4 ale daunei, valorile la fiecare moment critic. Se constată (tabelul 1) că pentru un moment critic (TCj) pot exista două valori ale daunei (dacă TCj aparține tipului de receptor analizat). Notăm DIij și DSij valoarea inferioară și respectiv superioară pentru oricare componentă a daunei corespunzătoare receptorului de tip „i", la momentul TCj (dacă ICj nu aparține tipului „i", evident DIij ≡ DSij). La nivelul grupei „K", pentru fiecare moment critic și componentă a daunei, cele două valori caracteristice ale daunei se vor determina deci cu relațiile :

$$DIKj = \sum_{i=1}^{TK} PKi \cdot NKi \cdot DIij,$$
$$DSKj = \sum_{i=1}^{TK} PKi \cdot NKi \cdot DSij. \qquad (31)$$

Avînd calculate valorile componentelor se poate determina (prin însumare) dauna totală.

3. Aplicarea calculatorului pentru determinarea daunei

Pe baza algoritmului descris s-au întocmit două programe de calcul în limbaj FORTRAN.

Programul „CCDR", cu schema logică din figura 1, este destinat evaluării componentelor (D_1, D_2, D_4), daunei totale (DA și DP) și respectiv valorilor timpilor TRPC și TTH pentru tipurile de receptoare cuprinse în tabelul 1. Datele de intrare sînt cele menționate în relațiile (1) ÷ (30), precum și valorile TT, TEB, TC (tabelul 1). Aceste date se grupează astfel ca pentru un tip de receptor să existe un set de date. Pentru delimitare cartelele cu caracteristicile fiecărui tip de receptor sînt precedate de o cartelă pe care se perforează tipul (codul) receptorului. Pot fi prelucrate date pentru un număr nelimitat de receptoare încadrate în cele 20 tipuri menționate în tabelul 1. Mărimile determinate se listează sub formă tabelară pe tipuri de receptoare.

Programul „CCDG" are organigrama din figura 2 și este destinat determinării componentelor daunei pentru grupe de receptoare. Utilizează ca date de intrare valorile componentelor de daună determinate prin intermediul programului „CCDR", precum și mărimile NKi, TK, PKi și TCj menționate anterior.

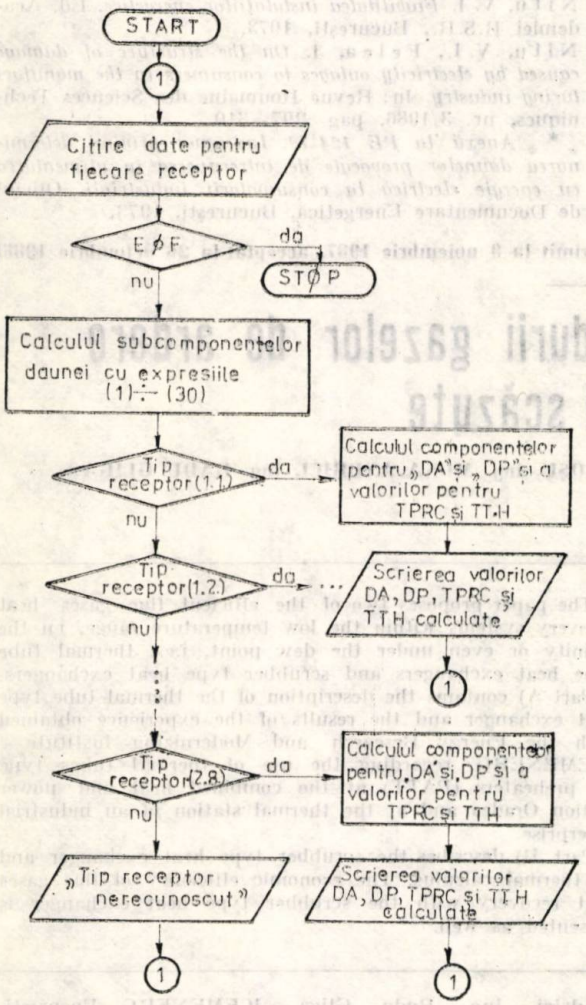


Fig. 1. Organigrama programului „CCDR".

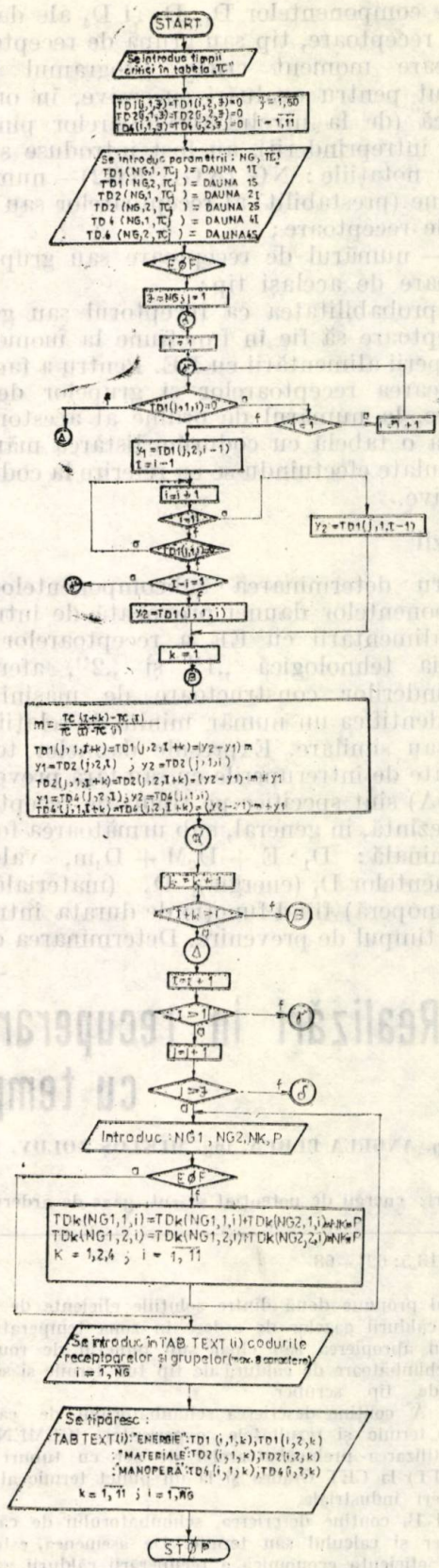


Fig. 2. Organigrama programului „CCDG".

Calculele se fac în baza relațiilor (31). Întocmirea programului „CCDG" a necesitat introducerea tabelelor TD1, TD2 și TD4 care cuprind

valorile componentelor D_1, D_2 și D_4 ale daunei pentru receptoare, tip sau grupă de receptoare, la fiecare moment critic. Programul fiind conceput pentru evaluări succesive, în ordine ierarhică (de la nivelul receptoarelor pînă la nivelul întreprinderii), au fost introduse suplimentar notațiile: NG (NG1, NG2) — numărul de ordine (prestabilit) al receptoarelor sau grupelor de receptoare;

NK — numărul de receptoare sau grupe de receptoare de același tip;

P — probabilitatea ca receptorul sau grupa de receptoare să fie în funcțiune la momentul întreruperii alimentării cu EE. Pentru a facilita identificarea receptoarelor și grupelor de receptoare, la numărul de ordine al acestora se asociază o tabelă cu codurile, listarea mărimilor calculate efectuîndu-se cu referire la codurile respective.

Concluzii

Pentru determinarea subcomponentelor și a componentelor daunei provocată de întreruperea alimentării cu EE a receptoarelor din categoria tehnologică „1" și „2", aferente întreprinderilor constructoare de mașini, se poate identifica un număr minim de relații comune sau similare. Expresiile daunelor totale provocate de întreruperile cu sau fără prevenire (DP, DA) sînt specifice pe tipuri de receptoare și se prezintă, în general, sub următoarea formă polinominală: $D_1 \cdot E + D_2M + D_4m$, valorile componentelor D_1 (energie), D_2 (materiale) și D_4 (manoperă) fiind funcție de durata întreruperii și timpul de prevenire. Determinarea componentelor daunei pe grupe de receptoare se face pe baza valorilor calculate pe tipuri de receptoare, la fiecare moment critic, avînd în vedere numărul receptoarelor de același tip, numărul total de receptoare și probabilitatea ca receptoarele să fie în funcțiune la momentul întreruperii EE. Modelul matematic și algoritmul elaborat permit evaluarea automată a daunei totale și pe componente, respectiv a timpului de prevenire caracteristic și de revenire tehnologică. În acest scop s-au întocmit programele de calcul „CCDR" și „CCDG", pentru evaluări la nivel de receptoare și respectiv la nivelul grupelor de receptoare.

Bibliografie

[1] Afonin, N. S. *Nadežnost' elektrosnabžnija promyšlennyh predprijatii.* Moscova, Gosenergoizdat, 1958.

[2] Felea, I. *Contribuții privind optimizarea nivelului de siguranță a consumatorilor industriali din domeniul industriei construcțiilor de mașini.* Teză de doctorat, I. P. București, 1985.

[3] Felea, I. *Caracteristicile de daună pentru receptoare specifice întreprinderilor constructoare de mașini.* În: Energetica, 34, 1986, nr. 6, pag. 241—254.

[4] Guk, Iu. V. *Osnovy nadežnosti elektroenergheticeskih ustanovok uzdatelstvo.* Leningradskogo universiteta, 1976.

[5] Nitu, V. I. *Fiabilitatea instalațiilor energetice.* Ed. Academiei R.S.R., București, 1973.

[6] Nitu, V. I., Felea, I. *On the structure of damage caused by electricity outages to consumers in the manufacturing industry.* In: Revue Roumaine des Sciences Techniques, nr. 3/1986, pag. 297—310.

[7] * * * *Anexă la PE 124/72. Îndrumar privind determinarea daunelor provocate de întreruperea în alimentarea cu energie electrică la consumatorii industriali.* Oficiul de Documentare Energetică, București, 1973.

(Primit la 9 noiembrie 1987, acceptat la 26 octombrie 1988)

Realizări în recuperarea căldurii gazelor de ardere cu temperaturi scăzute

Ing. ANGELA PEREA, ing. MIKLOȘ ZOLDY, ing. ANTON ROȘU, ing. MONA ANDRICI, ing. RADU GLIGA *

Descriptori: energii de potențial scăzut, gaze de ardere, recuperare

CZ: 662.613.5: 621—68

Articolul propune două dintre soluțiile eficiente de recuperare a căldurii gazelor de ardere în zona temperaturilor scăzute, în apropierea sau chiar sub punctul de rouă, și anume: schimbătoare de căldură de tip tub termic și schimbătoare de tip scruber.

Punctul A conține descrierea schimbătorului de căldură de tip tub termic și rezultatele experienței ICEMENERG privind utilizarea preîncălzitoarelor de aer cu tuburi termice (PATT) la CET Oradea și la un punct termic al unei întreprinderi industriale.

Punctul B conține descrierea schimbătorului de căldură tip scruber și calculul său termic. De asemenea, este demonstrată eficiența economică a recuperării căldurii gazelor de ardere cu schimbătorul de căldură tip scruber.

The paper proposes two of the efficient flue gases heat recovery systems within the low temperature range, in the vicinity or even under the dew point, i.e.: thermal tube type heat exchangers and scrubber type heat exchangers.

Part A) contains the description of the thermal tube type heat exchanger and the results of the experience obtained with the Energy Research and Modernizing Institute — ICEMENERG, regarding the use of thermal tubes type air preheaters (PATT) at the combined heat and power station Oradea and at the thermal station of an industrial enterprise.

Part B) describes the scrubber type heat exchanger and its thermal calculus. The economic efficiency of flue gases heat recovery with the scrubber type heat exchanger is presented as well.

* Ing. Angela Perea, ing. Anton Roșu, ing. Mona Andrici, ing. Radu Gliga — ICEMENERG București, ing. Mikloș Zoldy — IE Doicești.

Achievements in Low Temperature Flue Gases Heat Recovery

(Condensed form the paper in Romanian)

The heat of the flue gases disposed at the stack as a result of burning classical fuels in energetic boilers and industrial ovens, represents an important energy resource. The recovery of this heat in the vicinity of the dew point value constitutes one of the present topics of some research teams within the Energy Research and Modernizing Institute – ICEMENERG. The analysis of the utilization possibilities of this heat, of the location and choice of the recovery system on one hand and the study of a large bulk of references on the other hand, constitutes already the basis of the research activity concerning this item.

Among the efficient flue gases heat recovery solutions near the dew point or under it, we mention the heat exchangers of the thermal tube type and scrubber type whose characteristics are enumerated in the following presentation.

Gas/air thermal tube type heat exchanger

The properties of the thermal tube (i.e. high conductivity, isothermal operation, high reliability, relatively simple construction, etc.) which have been proven practically, enable its utilization within the acid dew point range of the flue gases.

Such a heat exchanger was mounted and tested on an experimental test stand, with a 165 t/h solid fuel burning steam boiler, on a by-pass of the flue gases channel vehiculating about 10% of the boiler's flue gases flow and at a 10 t/h steam boiler on the flue gases path; both are meant for the air preheating.

The technical parameters of these exchangers' type are the following:

		Experimental test stand	10 t/h boiler
– thermal load	kW	145	186
– flue gases temperature:	°C	213	179
– input	°C	213	179
– output	°C	169	139
– burning air temperature			
– input	°C	15	–10
– output	°C	17	43
– global heat exchange coefficient	w/m² °C	15	14
– pay-off time	years	–	2

Scrubber type heat exchanger

The properties of the gas/water scrubber type heat exchanger (i.e.: high heat exchange rate, simple construction, high reliability, etc.) which have been proven experimentally, enable the use for the flue gases heat recovery under the dew point.

Specifical conditions of the flue gases heat recovery and use side at an industrial platform have enabled the mounting of a "filling-free" scrubber on the flue gases side at a 30 t/h steam boiler burning gaseous fuel. The recovered heat is used in an indirect circuit for the preheating of the thermal power plant supply water.

The technical characteristics of this heat exchanger are:

– flue gases volume	m³/h	30,000÷35,000
– flue gases temperature		
– scrubber input	°C	150÷180
– scrubber output	°C	55÷60
– recirculated scrubber water temperature: – input	°C	35÷45
– output	°C	50÷60
– preheated water flow	m³/h	60÷70
– thermal load	kW	1000÷1200
– heat exchange coefficient	w/m² °C	150÷160
– scrubber diameter	m	2.75
– wet scrubber height	m	3÷5
– pay-off time	years	1

The results of the long range tests with these heat exchangers will outline the operation performances comparative with those resulted by computation. Depending on these results, generalized implementation on a large scale will be attempted.

În condiţiile actuale, se fac eforturi mari în scopul economisirii combustibilului care se arde în focarele cazanelor de abur şi cuptoarelor industriale. Randamentul acestora este limitat, printre altele, de valoarea ridicată a pierderilor de căldură cu gazele de ardere evacuate la coş. Coborîrea temperaturii gazelor de ardere la evacuare este însă limitată din considerente de economicitate, respectiv de pericolul coroziunii suprafeţelor finale de schimb de căldură.

Printre soluţiile eficiente de recuperare a căldurii gazelor de ardere în zona temperaturilor scăzute, în apropierea sau chiar sub punctul de rouă, se dovedesc a fi schimbătoarele de căldură de tip tub termic şi schimbătoarele de tip scruber.

A) Schimbătorul de căldură de tip tub termic

Tubul termic reprezintă o incintă de formă cilindrică, etanşă, vidată, căptuşită cu material poros şi umplută parţial cu un fluid de lucru. Un capăt al tubului se introduce în fluidul care cedează, iar celălalt capăt în fluidul care preia căldura transportată sub forma ei latentă de agentul de lucru din interiorul tubului. Agentul de lucru cu care este încărcat tubul se vaporizează în zona caldă şi se deplasează, datorită diferenţei de presiune creată, spre zona rece unde condensează cedînd căldura, după care se reîntoarce în zona caldă prin una din următoarele posibilităţi: gravitaţie (termosifon), capilaritate, forţă centrifugă, cîmp electrodinamic sau forţă osmotică.

Tubul termic a dovedit următoarele proprietăţi care l-au făcut utilizabil pentru o gamă largă de temperaturi: conductibilitatea ridicată ce poate depăşi 15 kW/cm²; fluxul axial de căldură al unui tub termic cu apă funcţionînd în jur de 400 K este de cîteva sute de W/cm²; funcţionare izotermă (fenomenul ciclic vaporizare-condensare, avînd loc la diferenţă de temperatură de numai cîteva grade, face ca transportul de căldură să fie practic izoterm); transformator de flux termic (de la o sursă concentrată se poate disipa căldura pe o suprafaţă întinsă şi invers) pînă la raportul 1 :10;

fiabilitate ridicată, neavînd părți în mișcare; construcție simplă care permite funcționarea și înlocuirea ușoară cînd se corodează.

Viteza maximă de coroziune în zona punctului de rouă acidă nu depășește 0,8 mm/an. Numărul de tuburi termice existent în această zonă este relativ redus; pentru realizarea acestora sînt necesare condiții speciale.

Pentru prelungirea duratei de viață a tuburilor termice, acestea pot avea, în zona periculoasă, grosimea peretelui mărită cu 3 — 5 mm.

Spargerea timpurie a tuburilor termice din această zonă nu afectează etanșeitatea schimbătorului de căldură.

Rezultatele experienței ICEMENERG privind utilizarea preîncălzitoarelor de aer cu tuburi termice la două platforme industriale, sînt următoarele :

1. La un cazan de 165 t/h din cadrul CET Oradea, care funcționează pe combustibil solid, s-a amplasat un stand cu preîncălzitor de aer cu tuburi termice pe un by-pass al canalului de gaze de ardere evacuate în care se vehiculează circa 10% din debitul de gaze de ardere al cazanului.

PATT este prevăzut cu 150 tuburi termice, cu o lungime $(h_g + h_a)$ de 4 m, Φ 32 × 3 mm. Suprafața de schimb de căldură este de 60 m², repartizată egal între partea de aer și cea de gaze de ardere. Tubul termic confecționat din OL—37—K1 este umplut pe 1/3 din lungime, cu 2/3 apă demineralizată și 1/3 alcool etilic tehnic, prin procedeul de fierbere într-o stație de încărcare cu care se realizează în tubul termic un vid de 0,02 bar. Sarcina termică a PATT este de 145 kW. Temperatura gazelor de ardere s-a redus de la 466 ÷ 471 K la 442 ÷ ÷ 447 K pe seama creșterii temperaturii aerului de la 288 ÷ 292 K la 300 ÷ 312 K.

Coeficientul global de transfer al căldurii a fost K = 15 W/m²K. Coeficientul de transfer al căldurii de la gazele de ardere la tubul termic λ_g = 75 W/m²K, iar de la acesta la aer de circa 95 W/m²K. Viteza gazelor de ardere printre tuburile termice a fost de 6 m/s, iar pentru aer 8 m/s. Căderea de presiune de-a lungul celor 30 rînduri de tuburi termice a fost de 50 Pa în partea de gaze de ardere și circa 140 Pa în cea de aer.

În ceea ce privește comportarea PATT la funcționarea de durată s-a constatat după un an de funcționare, prin analiza metalografică, un proces de coroziune cu adîncimea de 0,05 — —0,2 mm. Viteza de coroziune fiind sub 0,2 mm, poate fi considerată nepericuloasă, tuburile termice putînd funcționa fără a se sparge cel puțin 10 ani.

2. La un cazan de 10 t/h funcționînd pe gaze naturale sau păcură din cadrul centralei termice a Intreprinderii S. B. Bacău s-a montat un preîncălzitor de aer cu tuburi termice (PATT), luînd în considerare spațiul disponibil pentru amplasare și fără a aduce modificări la ventilatoarele de gaze și aer, în funcțiune. PATT este prevăzut cu 576 tuburi termice, cu o lungime $(h_g + h_a)$ = 1,62 m, Φ 32×3 mm. Suprafața de schimb de căldură este de 93 m², repartizată egal în partea de aer și gaze de ardere. Sarcina termică PATT este 186 kW. Temperatura gazelor de ardere a scăzut de la 452 K la 412 K pe seama creșterii temperaturii aerului de la 263 K la 316 K. Coeficientul global de transfer de căldură este de 14 W/m²K. Valoarea pierderilor de presiune introduse de PATT este de 98 Pa, pe partea de gaze de ardere, și de 147 Pa, pe partea de aer. Puterea suplimentară absorbită de ventilatoarele de gaze și aer este de 1,5 kW. Pierderile de căldură la coș au scăzut cu 1,86 %.

Investiția se poate recupera în mai puțin de 2 ani la o funcționare a cazanului de 7 000 ore/an.

Asupra funcționării de durată a acestuia nu se pot trage încă concluzii, fiind recent pus în funcțiune.

B) Schimbător de căldură tip scruber

Sistemul de recuperare tip scruber sau, după titulatura sovietică, economizorul cu contact reprezintă de fapt un rezervor cilindric vertical, avînd un racord la partea inferioară de intrare a gazelor de ardere și unul la partea superioară de ieșire.

Pe partea de apă, la partea superioară a acestui cilindru, se montează un racord cu duzele de pulverizare a apei care urmează a se preîncălzi, după care apa preîncălzită se acumulează în bazinul de la partea inferioară a acestui cilindru (fig. 1).

Se constată că suprafața de transfer al căldurii este constituită din suprafața picăturilor de apă pulverizată care vine în contact direct cu gazele de ardere, acestea circulînd în contracurent.

Calculul termic al scruberului fără umplutură se bazează, în principal, pe următoarele relații, pentru :

— determinarea temperaturii finale optime de preîncălzire a apei :

$$t^2_{apă} = t_{um} - (2 \div 3)^\circ C;$$

— determinarea temperaturii termometrului umed se face pornind de la ecuația bilanțului termic în momentul cînd gazele de ardere sînt saturate cu vapori și apa a ajuns la temperatura termometrului umed :

$$G_{ga,um}(c^{um}_{ga,u} \cdot t_{um} + d_{um} \cdot i_{um}) =$$

$$G_{ga,u}(c^1_{ga,u} \cdot t^1_{ga} + d_1 \cdot i_1) +$$

$$+ G_{ga,u}(d_{um} - d_1) \cdot t_{um} \cdot c_{apă};$$

— determinarea suprafeței de schimb termic între picătura de apă și gazele de ardere pe unitatea de volum a aparatului:

$$S_{SK} = s \cdot \tau \cdot H (\mathrm{m^2/m^3}); \quad s = \frac{6}{d} (\mathrm{m^2/m^3});$$

$$\tau = \frac{1}{W} (\mathrm{s/m}).$$

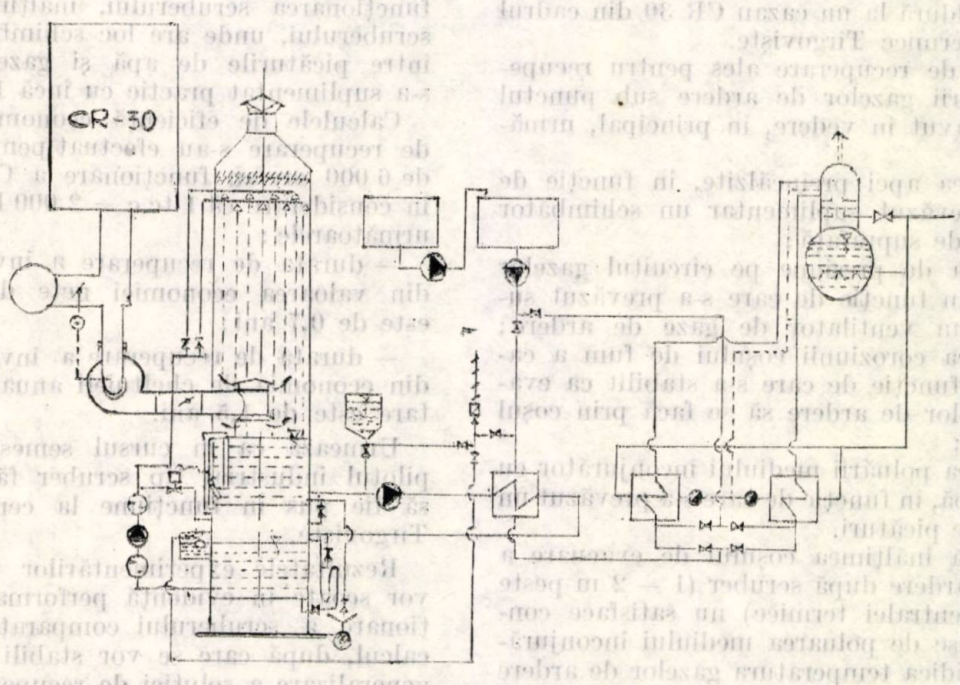


Fig. 1. Schema termomecanică a instalației de recuperare cu scruber.

$W = W_0 - W_{gam}$ (m/s) — viteza reală de cădere a picăturii de apă;

$W_0 = 162 \frac{d}{W_{gam}}$ (m/s) — viteza de cădere liberă a picăturii de apă;

$H = \frac{V_{apă}^{pre}}{D_{SK}^2/4}$ (m³/m²·s) — densitatea de stropire cu apă pe unitatea de suprafață a scruberului;

— determinarea coeficientului de împrăștiere a picăturilor de apă;

$$\beta = 12 \sqrt{\frac{d}{W_{gam}}} (\mathrm{kg/m^2 h});$$

$$W_{gam} = \frac{\rho_{ga,u} \cdot V_{ga,u} (1 + d_m) \cdot B}{3\,600 \cdot \rho_{gam} \cdot 0{,}785 \cdot D_{SK}^2} (\mathrm{m/s});$$

$$d_m = \frac{d_1 + d_2}{2} (\mathrm{kg/kg});$$

— determinarea coeficientului global de schimb de căldură între picătura de apă și gazele de ardere:

$$K = \frac{\beta}{3{,}6} \cdot c_{gam} (\mathrm{W/m^2\,°C});$$

— determinarea dimensiunilor scruberului:

$$V_{SK} = \frac{Q}{K \cdot \Delta t_m \cdot S_{SK}} (\mathrm{m^3}); \quad h_{SK} = \frac{V_{SK}}{\pi D_{SK}^2/4} (\mathrm{m})$$

S-au folosit următoarele notații:

— $G_{ga,u}$ (kg/s) — debitul volumetric al gazelor de ardere uscate;

— $C_{ga,u}^{um}$, $C_{ga,u}^{i}$ (kJ/kg°C) — căldurile specifice ale gazelor de ardere uscate corespunzătoare temperaturii termometrului umed și temperaturii inițiale a gazelor de ardere;

— $C_{apă}$ (kJ/kg°C) — căldura specifică a apei;

— i_{um}, i_1 (kJ/kg) — entalpia vaporilor de apă din gazele de ardere la temperatura t_{um}, t_1;

— d_{um}, d_1, d_2 (kg/kg) — conținutul de umiditate al gazelor de ardere la temperatura t_{um}, t_1, t_2;

— s (m²/m³) — suprafața picăturii de apă pe unitatea de volum a picăturii;

— d (mm) — diametrul picăturii de apă;

— W_{gam}(m/s) — viteza medie a gazelor de ardere;

— $V_{apă}^{pre}$(kg/s) — debitul de apă preîncălzită în scruber;

— D_{SK}(m) — diametrul ales al scruberului;

— C_{gam}(kJ/kg°C) — căldura specifică medie la presiune constantă a gazelor de ardere;

— Q (W) — căldura recuperată;

— Δt (°C) — diferența de temperatură medie logaritmică între gazele de ardere și apă;

— V_{SK}(m³) — volumul scruberului;
— h_{SK}(m) — înălțimea scruberului pe porțiunea de schimb de căldură între gaze și apă;
— B (m³*/h) — debitul de combustibil;
— d_m(kg/kg) — umiditatea medie a gazelor de ardere;
— ρ_{gam}(kg/m³) — densitatea medie a gazelor de ardere umede.

ICEMENERG a realizat un astfel de schimbător de căldură la un cazan CR 30 din cadrul Centralei Termice Tîrgoviște.

Sistemul de recuperare ales pentru recuperarea căldurii gazelor de ardere sub punctul de rouă a avut în vedere, în principal, următoarele:

— calitatea apei preîncălzite, în funcție de care s-a prevăzut suplimentar un schimbător de căldură de suprafață;

— căderea de presiune pe circuitul gazelor de ardere, în funcție de care s-a prevăzut suplimentar un ventilator de gaze de ardere;

— evitarea coroziunii coșului de fum a cazanului, în funcție de care s-a stabilit ca evacuarea gazelor de ardere să se facă prin coșul scruberului;

— evitarea poluării mediului înconjurător cu vapori de apă, în funcție de care s-a prevăzut un separator de picături.

În caz că înălțimea coșului de evacuare a gazelor de ardere după scruber (1 — 2 m peste înălțimea centralei termice) nu satisface condițiile impuse de poluarea mediului înconjurător, se va ridica temperatura gazelor de ardere de după scruber cu 10 — 15°C peste punctul de rouă cu o cantitate corespunzătoare de gaze de ardere de temperatură inițială, după care acestea se vor evacua în atmosferă prin coșul centralei termice.

Rezultatele calculelor termice și funcționale ale scruberului se prezintă astfel: pentru o funcționare la nominal a cazanului CR 30 la care corespunde un debit de 2100 m³*/h, scruberul prezintă următoarele caracteristici:

V_{ga} — volum de gaze de ardere (m³/h): 35 500
t^1_{ga} — temperatura gazelor la intrarea în scruber (°C): 150
t^2_{ga} — temperatura gazelor la ieșirea din scruber (°C): 57
t^2_a — temperatura apei la intrarea în scruber (°C); 45
t^2_a — temperatura apei la ieșirea din scruber (°C): 60
D^{sk}_a — debit apă scruber (m³/h): 70
Q — căldura recuperată (kW): 1 200
K — ceficientul global de schimb de căldură (W/m²°C): 151
V_{sk} — volumul aparatului (m³): 26
D_{sk}/h_{sk} — diametrul/înălțimea umedă a scruberului (m/m): 2,75/4

Pentru a prelua variațiile de parametri în funcționarea scruberului, înălțimea umedă a scruberului, unde are loc schimbul de căldură între picăturile de apă și gazele de ardere, s-a suplimentat practic cu încă 1 m.

Calculele de eficiență economică a soluției de recuperare s-au efectuat pentru un număr de 6 000 ore/an funcționare a CR 30 și luînd în considerare că 1 tc.c = 2 000 lei, au rezultat următoarele:

— durata de recuperare a investiției totale din valoarea economiei nete de combustibil este de 0,7 ani;

— durata de recuperare a investiției totale din economia de cheltuieli anuale de exploatare este de 1,5 ani.

Urmează ca în cursul semestrului I 1989 pilotul industrial tip scruber fără umplutură să fie pus în funcțiune la centrala termică Tîrgoviște.

Rezultatele experimentărilor pe acest pilot vor scoate în evidență performanțele de funcționare a scruberului comparativ cu cele de calcul, după care se vor stabili condițiile de generalizare a soluției de recuperare.

* m³ în condiții normale de presiune și temperatură.

Bibliografie

[1] Carabogdan, Gh., Badea, A., Leca, A., Athanasovici, V. *Instalații termice industriale — culegere de probleme pentru ingineri*. Ed. tehnică, 1983.

[2] Bilegan, I.C. *Tubul termic*. Ed. tehnică, București, 1982.

[3] Roșu, A. *Preîncălzitoare de aer cu tuburi termice. Experimentări la CET Oradea*. In: Energetica, 33, 1985, nr. 9, p. 416—424.

[4] Zaharescu, I. *Recuperarea căldurii reziduale a gazelor de ardere cu potențial termic scăzut*. In: Energetica, 34, 1986, nr. 4, p. 145—152.

[5] Perea, A., Zoldy, M., Gliga, R. ș.a. *Soluții noi de valorificare a RER rezultate din procese industriale*. Comunicare la Conferința de Energetică a IPB — 1986.

[6] Perea, A., Zoldy, M., Gliga, R. ș.a. *Valorificarea căldurii gazelor de ardere sub punctul de rouă al unui cazan tip CR 30*. Comunicare la a V-a Consfătuire pe țară cu tema: Metode de economisire și folosire rațională a energiei electrice și termice în industrie, Baia Mare, 1987.

(Primit la 5 august 1988, acceptat la 22 noiembrie 1988)

Preocupări privind folosirea cenușii și zgurii de termocentrală

Ing. VASILE POPOVICI *

Descriptori: centrale termoelectrice, zgură, cenușă, recuperare

C.Z.: 621.311.22/23. 622: 613.19: 662.613.1

Realizarea termocentralelor cu funcționare pe cărbune a necesitat și rezolvarea depozitării sau folosirii cenușii și zgurii, rezultată ca deșeu industrial.

Folosirea cenușii și zgurii de termocentrală preocupă pe specialiștii din diferite domenii din țară și străinătate.

În multe țări s-a ajuns ca cenușa și zgura să fie folosite în proporție de 20—70% cu multe avantaje în economie.

La noi în țară există o serie de studii și soluționări pentru folosirea cenușii și zgurii la drumuri, diguri, umpluturi, unele construcții, amenajări hidroenergetice, industria construcțiilor etc., care necesită a fi intensificate și extinse, pentru a conduce la un grad și mai mare de utilizare a acestui deșeu industrial, precum și la reducerea ocupării terenurilor agricole.

Coal fired thermal power plants building requires the solving of the storage or use of ash and slag resulted as industrial waste.

The use of the ash and slag disposed from the thermal power plants is a concern for the experts from different fields of activity in our country and abroad.

In many countries the ash and slag is processed to a degree of 20—70% with many economic advantages.

In our country as a result of many studies for the use of the ash and slag, solutions were found to use it for road construction, dams, fillings, some constructions, hydropower developments, construction industry, etc. They still require intensification and extension in order to obtain a wider application range for these industrial wastes. This would also help to clear agricultural land used at present for storage.

Considerații generale

Necesitatea creșterii rapide a potențialului energetic al țării și folosirea cu eficiență maximă a rezervelor de cărbune inferior (lignitul) din țara noastră, a determinat construcția unor mari centrale termoelectrice (Rovinari, Turceni), cît și a numeroase centrale electrice de termoficare (Craiova, Slatina, Timișoara, Arad, Oradea, Suceava, Iași etc.).

Arderea combustibilului solid în cazanele termocentralelor pe lîngă avantajele economice prezintă, printre altele, și probleme dificile legate de depozitarea zgurii și cenușii. Consumul de lignit pentru cîteva termocentrale la profilul proiectat este dat în tabelul 1.

Tabelul 1

Denumirea termocentralei	Profilul [MW]	Consum lignit (circa) [milioane tone/an]	Obs.
Turceni	8×330	25	lignit din bazinul Oltenici cu puterea calorifică 1550 kcal/kg
Rovinari	2×200 + + 4×330	15	
Craiova—Işalnița	2×100 + 3× × 50 + 1×55 + 2×310	13	
Suceava	3×50	3	

Apreciindu-se că prin arderea lignitului în cazanele termocentralelor rezultă 30—50% cenușă și zgură, numai de la centralele cu consumul de cărbune menționat mai sus, pentru funcționarea la capacitatea totală va fi necesar să se depoziteze circa 17—27 mil. tone zgură și cenușă.

La noi în țară folosirea cenușii uscate se face la o scară foarte redusă, ceea ce a impus transportul hidraulic al amestecului de zgură și cenușă în depozite special amenajate. Soluția prezintă o serie de avantaje economice și tehnologice, dar necesită și ocuparea unor suprafețe mari de teren.

Numai pentru cele 4 termocentrale pentru depozitarea cenușii sînt necesare circa 700—1000 ha, dintre care și teren agricol.

1. Caracteristicile cenușii și zgurii de termocentrală

Cenușa de termocentrală este un deșeu industrial rezultat în urma arderii rapide a prafului de cărbune la temperatura de 1200°C. Astfel, se obține o masă foarte fină în proporție de 90% de culoare gri, în general vitrificată, alcătuită din granule sferice, compacte sau poroase și microzguri, cu o suprafață specifică mare, care poate fi ușor antrenată de un curent de aer și împrăștiată, în atmosferă, de unde și numele de cenușă zburătoare.

Totodată, prin arderea cărbunelui în partea inferioară a cazanului rezultă în proporție de 10% zgură, care este în dimensiuni de ordinul centimetrilor sau masă compactă, cu compoziție chimică similară cu a cenușii, însă cu procent mai mare de siliciu.

* Ing. Vasile Popovici — Institutul de Studii și Proiectări Energetice

Compoziția chimică a cenușii și a zgurii *Tabelul 2*

Sursa de procurare cenușă	Natura cărbunelui	Compoziția chimică a cenușii și zgurii [%]						
		SiO_2	Fe_2O_3	Al_2O_3	CaO	MgO	S	Substanțe combustibile
CTE – Turceni	lignit	42,52	11,10	20,44	7,0	2,01	2,05	9,80
CTE – Rovinari	lignit	53,20	4,81	23,63	1,95	1,54	0,048	8,84
CTE – Doicești	lignit	47,20	11,36	18,96	10,21	3,55	–	2,23
CTE – Işalnița	lignit	48,0	8,11	23,0	9,16	3,08	–	1,63

Studiile efectuate de institutele de specialitate INCERC, INCERTRANS și I.C.H. au stabilit proprietățile chimice și fizice ale cenușii (tabelul 2).

Compoziția chimică a cenușii de termocentrală permite aprecierea activității hidraulice a acestor materiale, prin evidențierea următorilor indici :

– Indicele de hidraulicitate (I) :

$$I = \frac{SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3}{CaO + MgO}.$$

– Modul de hidraulicitate (M) :

$$M = \frac{CaO + MgO + K_2O + Na_2O}{SiO_2 + Al_2O_3}.$$

Analizînd tabelul 3, în care sînt date valorile indicelui de hidraulicitate și ale modulului de hidraulicitate, reiese că zgura și cenușa are proprietăți hidraulice.

Tabelul 3

Factori de hidraulicitate

Materiale	Factori	
	I/I	M
Cenușă uscată	0,12	0,14
Zgură de focar	0,17	0,19
Condiții limită	0,15...0,20	0,10...0,15

Activitatea chimică a cenușii uscate de termocentrală este de 46% raportată la cea a unui var de calitate.

Solubilitatea materialului în apă arată că prin spălare compușii anionici și cationici pot fi scoși din cenușă. Dintre anioni predomină SO_4^{-2}, care trebuie determinat deoarece funcție de prezența sa în cantitate mai mică sau mai mare are importanță asupra agresivității sulfatice asupra betoanelor.

1.1. Caracteristici fizice

Cenușa de termocentrală CTE Turceni are următoarele caracteristici :

a) Compoziția granulometrică :
– 92–97% trece prin sita de 1,25 mm ;
– 88% trece prin sita de 0,20 mm ;
– 50% trece prin sita de 0,040 mm.

La cenușa din haldă procentul a fost 6–15% pentru fracțiunea de sub 0,04 mm.

b) Umiditatea naturală este 37–46% pentru material grosier. Pentru materialul mediu și fin umiditatea este mai ridicată W = 90%. La umiditate redusă cenușa este rezistentă și suportă bine sarcini verticale (unghiul de frecare internă : $\varphi m = 30°$ și coeziunea : c = 0,05 kg/cm²).

c) Densitatea în grămadă în stare uscată :
– în stare afînată . . . . . 0,76 t/m³ ;
– în stare îndesată . . . . . 0,91 t/m³.

Densitatea cenușii uscate este de 1,32 t/m³.

Caracteristici de compactare determinate prin încercarea Proctor normală (STAS 1913/13-83) :
– densitatea maximă, $d_{max} = 0,91$ g/cm³ ;
– umiditatea optimă de compactare, $W_{opt} = 54\%$.

Conținutul de fracțiuni sub 0,04 mm îndeplinește condiția impusă de prescripțiile tehnice oficiale franceze de minimum 40% în vederea utilizării cenușii de termocentrală la umpluturi stabilizate.

1.2. Caracteristici chimico-mineralogice

Caracteristicile chimico-mineralogice ale cenușii au permis obținerea unor informații ce pot fi corelate cu proprietățile lor constructive conform [1], astfel :

– componenții mineralogici au o activitate scăzută față de apă, lucru ce face ca reținerea apei să fie mică, iar materialul să se comporte ca un material necoeziv ;

– oxizii liberi de Fe și de Ca care se găsesc în cenușă au o influență pozitivă asupra consolidării în timp a materialului ;

– cantitatea mare de sulfați ce se determină în apele rezultate după transportul cenușilor se explică prin faptul că apa este recirculată. Pentru cenușa depusă în mod hidraulic se apreciază că circulația apelor atît pluvială, cît și eventual din riu permite o spălare a eventualelor componenți agresivi ;

— limitele între care variază substanțele combustibile nearse în cenușă variază între 1,63% și 9,80%. Se menționează că în conformitate cu prescripțiile oficiale franceze [17] conținutul de părți nearse trebuie să fie în jur de 8% în vederea utilizării la umpluturi stabilizate;

— depunerile de cenușă din haldă pot fi considerate ca niște pămînturi de tip special prăfos-nisipoasă, fără coeziune sau cu coeziune redusă, fără plasticitate, cu compresibilitate și capilaritate redusă.

Una dintre proprietățile importante ale cenușii de termocentrală, care face ca acest deșeu industrial să devină un material de construcții, este proprietatea sa hidraulică, și anume posibilitatea de a fixa hidroxidul de calciu, $Ca(OH)_2$, și de a forma hidrosilicați stabili.

De asemenea, cenușa de termocentrală are proprietatea de a întări bitumul dînd amestecuri cu proprietăți asemănătoare celor cu filer de calcar; în condiții de compoziție identică cenușa contribuie mai puternic la efectul de întărire a bitumului decît filerul de calcar, dînd naștere, la dozaje egale, unor amestecuri cu o vîscozitate mult mai ridicată.

2. Utilizarea zgurii și cenușii

Folosirea cenușii și zgurii de termocentrală constituie una din preocupările specialiștilor din diferite domenii din țară și străinătate.

Cercetări efectuate în diferite țări ale lumii (Anglia, Franța, S.U.A., Polonia, Cehoslovacia, România etc.) au demonstrat că proprietățile fizico-mecanice ale acestor deșeuri industriale indică posibilitatea de a fi folosite ca materie primă în domeniul construcțiilor, industriei chimice, industriei ceramice, industriei extractive etc. În unele țări diferite tipuri de cenușă produsă în termocentrale prin arderea cărbunelui sînt folosite în proporție de 20—70%. Menționăm astfel între aceste țări: S.U.A. (cu producție de circa 60 milioane tone cenușă în anul 1980), R.F.G., Cehoslovacia, Anglia etc.

Dintre folosințele mai importante ale cenușii conform literaturii, cercetărilor și aplicațiilor, menționăm:

— adaos la compoziții asfaltice pentru etanșări, filer în asfalt (S.U.A., Polonia, R.F.G.);

— lucrări de drumuri (Franța, Anglia, R.F.G., Cehoslovacia);

— la digurile de supraînălțare a depozitelor de zgură și cenușă (S.U.A., Polonia, U.R.S.S.);

— la construcții hidrotehnice, amestecuri pentru cărămizi (Franța, S.U.A., Polonia, R.F.G., Cehoslovacia);

— la zonele de filtru pentru barajele din materiale locale (S.U.A., Anglia etc.).

Unul dintre obiectivele principale ale cercetărilor de la Universitatea din Michigan (S.U.A.) a fost să caracterizeze compresibilitatea cenușii din umpluturi și posibilitatea prevederii ei.

Concluziile materialului arată că cenușa de termocentrală poate fi folosită în umpluturi. În materialul publicat de Rogeo R. Scals, Byron E. Ruth în 1972, este analizată folosirea zgurii de termocentrală ca agregat pentru diferite folosințe, dintre care amintim:

— în statul Indiana (S.U.A.) zgura folosită ca umplutură de drumuri;

— coș de fum construit pe fundație din zgură compactă în grosime de 5 m;

— folosirea zgurii în drenajele barajelor (circa 30 m înălțime) din Virginia de Vest din S.U.A.;

— zgură folosită exclusiv ca nisip;

— mai multe drumuri executate din zgură.

În același material sînt prezentate cîteva caracteristici stabilite în laborator pe zgură compactată;

— umedă- greutatea volumică = 1,28—1,78 t/m³;

— uscată-greutatea volumică = 1,239 — 1,349 t/m³;

— porozitatea mai mare decît la nisip;

— coeficientul de permeabilitate la fel ca pentru nisipuri;

— unghiul de frecare internă sau taluzul natural:

— 38°—42° pentru zgură;

— 24°—45° pentru nisip.

Precizăm că la majoritatea cazanelor cu ardere pulverizată zgura și cenușa rezultă separat din procesul tehnologic. În unele cazuri, în S.U.A., ea nu se amestecă înaintea transportului la haldă, așa cum se procedează în mod curent în țara noastră și în Europa. Urmărirea compactării în timp a unor ramblee experimentale în care s-au introdus aparate de măsură și control, cît și a unor lucrări de umplutură definitive au permis înlocuirea eficientă a unor materiale locale (pămînt, balast, nisip) cu zgură și cenușă compactă, rezultînd importante economii și totodată redînd agriculturii însemnate suprafețe de teren agricol.

În S.U.A. și R.F.G. s-au realizat agregate ușoare în regiuni unde lipsesc agregatele naturale, prin metoda sinterizării (arderea și aglomerarea cenușii zburătoare). Astfel s-a obținut pietriș sintetic în instalații adecvate, la termocentrala Rockdale în S.U.A. din lignitul texan și în R.F.G. la termocentrala Scholven lîngă Essen.

La noi în țară s-a studiat utilizarea zgurii și cenușii de către INCERC, INCERTRANS, ICH, ISPH, ISPA, ICPMC, institute de învățămînt superior etc.

Folosirea cenușii și zgurii a rezultat ca posibilă și se utilizează la umpluturi pentru drumuri, la suprastructura drumurilor, la digurile pentru depozitele de zgură și cenușă, în industria construcțiilor, în industria extractivă petrolieră (de la termocentrala Doicești etc.).

S-a studiat folosirea zgurii ca strat filtrant și de egalizare la fundația drumurilor, amenajări hidroenergetice etc.

Utilizarea cenușii uscate, captată de la electrofiltrele termocentralei Deva, ca adaos la prepararea betoanelor are efect pozitiv asupra proprietăților betonului proaspăt și întărit, reduce costul de producție cu 8 lei/m³ și aduce o economie de energie înglobată de circa 5 kg c.c./m³.

De asemenea, la fabricarea blocurilor mici de zidărie cenușa de termocentrală poate fi folosită în proporție de 40—60% din masa betonului. La betonul rutier marca B 350 în stratul de rezistență s-a studiat folosirea adaosului de cenușă direct în masa betonului.

Valoarea maximă a raportului cantității de cenușă la cantitatea de ciment va fi de 0,15 pentru betoanele rutiere executate cu cenușă de la termocentralele Mintia, Ișalnița, Rovinari și Doicești.

Pentru lucrările din incinta centralelor din inițiativa ISPE s-au făcut o serie de analize și studii privind utilizarea cenușii și zgurii.

3. Stadiul tehnic actual al soluționării umpluturilor pentru nivelarea terenului la incintele termocentralelor

Incinta unei termocentrale ocupă suprafețe de teren mari (30—100 ha) și datorită reliefului denivelat al terenului necesită volume mari de terasamente.

Pentru umpluturile necesare realizării platformelor nivelate ale incintelor se utilizează și pământul rezultat de la fundațiile construcțiilor termocentralelor, urmărindu-se o compensare a săpăturilor cu umpluturile, însă datorită terenului accidentat în multe incinte de termocentrale necesarul de umpluturi trebuie asigurat din gropi de împrumut, din zone situate la distanțe mari de transport și excavat din terenuri agricole.

Volumele de umplutură necesare pentru incinta termocentralelor variază în medie de la 500 000 m³ la 2 000 000 m³.

Volume importante de umpluturi sînt necesare și în zona organizării de șantier.

În zona lucrărilor aferente blocurilor 1 și 2 majoritatea umpluturilor (circa 70%) se face cu pământ transportat cu autocamioane de la distanțe uzuale de 5 km, necesitînd consum de carburanți și cauciucuri (consumul de motorină atinge 0,025 l/km).

În cazul unei centrale la care, pentru nivelarea incintei, sînt necesari 2 000 000 m³ umplutură se folosesc, la început, 1 500 000 m³ pământ transportat din groapă de împrumut, iar pentru umplutură în restul incintei, în volum de circa 500 000 m³, se poate folosi cenușa rezultată de la arderea cărbunelui în cazanele centralei. Pentru obținerea pământului necesar acestor umpluturi ar trebui să se afecteze circa 5—10 ha teren agricol. Motorina consumată în acest caz ar fi: 0,05 l/m³ × 500 000 m³ = 25 000 l pentru săpături; 500 000 × 1,8 t/m³ = 900 000 t pentru transport. Totalul: 900 000 × 5 km × × 0,025 l/t km = 122 500 l. Deci, pentru săpături și transportul pământului trebuie să se consume circa 150 t motorină.

4. Modalități de folosire a cenușii și zgurii pentru amenajarea terenului

4.1. Utilizarea cenușii și zgurii evacuate hidraulic

Zgura se preia direct din conductele de evacuare a zgurii atunci cînd traseul estacadei de zgură trece prin zona în care se va realiza umplutura pentru nivelarea terenului, așa cum s-a realizat la al treilea depozit de la Turceni. Umplutura se realizează prin hidromecanizare, eliminîndu-se transportul auto și săpătura, care necesită consum de motorină; se evită totodată expropierea terenurilor agricole. Economia realizată la CTE Turceni prin această soluție față de umplutura cu pămînt este următoarea:

a — cost prevăzut inițial pentru umplutura cu pămînt: 50 mil. lei;

b — costuri rezultate ca urmare a aplicării soluției noi de utilizare a zgurii pentru umpluturi:

b.1. — umplutură cu zgură prin hidromecanizare: 2 mil.;

b.2. — umplutură cu zgură pentru finisarea + nivelarea platformei: 3,2 mil. lei;

b.3. — placarea cu pămînt în zonele neacoperite cu construcții și cărbune: 1,8 mil. lei

TOTAL: 7 mil. lei

Economia realizată 43 milioane lei.

4.2. Utilizarea zgurii depozitată și decantată în halda depozitului de zgură prin excavare și transport la zona unde se va realiza nivelarea terenului incintei, prin umplutură

Prin faptul că depozitele de zgură sînt apropiate de incinta termocentralelor se reduce distanța de transport. Economia de motorină se apreciază 900 000 t × 2 km × 0,025 l/t km = 450 000 l.

Totodată, se evită ocuparea terenurilor agricole pentru obținerea pămîntului necesar umpluturilor, circa 10 ha.

4.3. Utilizarea zgurii rezultată de la cazane (instalație Kratzer)

Zgura, în dimensiuni de 0—30 mm, rezultată de la arderea cărbunelui în cazan poate fi captată de la Kratzer după răcire și dirijată pe o bandă la autocamioane.

Astfel se elimină săpătura pentru zgură, economisindu-se 0,05 l/m² × 500 000 m³ = 25 000 l motorină.

Întrucît zgura se obține din incinta termocentralelor, distanța de transport va fi de circa 1 km, economisindu-se motorina pentru distanța de 5 km, astfel:

900 000 t × 4 km × 0,025 l/t km = 90 000 l

Rezultă o economie de 115 t motorină și se evită expropierea a 10 ha teren agricol.

Concluzii

Pe plan mondial există preocupări și realizări diverse (20—70%) pentru folosirea cenușii și zgurii, care constituie un deșeu industrial cu multe implicații în economie.

La noi în țară există o serie de studii și de soluționări care necesită a fi extinse, pentru a conduce la un grad și mai mare de utilizare a zgurii și cenușii.

Bibliografie

[1] ICIF — ICH — *Măsurători de teren și calcule privind infiltrațiile din depozitul de zgură și cenușă de la CTE-Turceni.* București — 1975.

[2] *Posibilități de utilizare și valorificare ale cenușilor din termocentrale.* Sesiunea tehnico-științifică, Deva 1981

[3] C.D. 127—83. *Instrucțiuni tehnice departamentale de proiectare și execuție a straturilor rutiere din agregate naturale stabilizate cu lianți puzzolanici.* București

[4] C.D. 128-79. *Instrucțiuni tehnice departamentale pentru stabilizarea materialelor locale cu cenușă uscată de termocentrală la lucrări rutiere.* București.

[5] C.D. 129-79. *Instrucțiuni tehnice departamentale pentru execuția rambleelor rutiere din cenușă de haldă de termocentrală.* București.

[6] INCERTRANS. *Tehnologii de utilizare a cenușii și zgurii de la termocentrala Turceni la lucrările de drumuri și platforme de incintă.* București 1983 și 1984.

[7] ICB. *Cercetări privind tehnologia de utilizare a cenușii de la CTE Turceni la lucrările de platforme și drumuri de incintă.* București 1986.

[8] Teodorescu, D., Fodor, G. *Studii privind folosirea cenușii de termocentrală în construcția drumurilor din R.P.R.* București 1963.

[9] ICPMC — *Utilizarea cenușilor de la electrofiltrele CET la prepararea betoanelor și extinderea domeniilor de utilizare a cenușilor.* București 1988.

[10] *Centrala VKR de producere a pietrișului ușor și programul de control al calității pentru utilizarea cenușii zburătoare la centrala Scholven—Essen — RFG.* Raport 1971, Washington.

[11] Barenberg, E. *Utilizarea cenușii în construcțiile de bază* — Pennsylvania 1973.

[12] Bonifay, D. *Pietriș sintetic făcut în cuptoare de ardere rotative din cenușa zburătoare provenită din lignitul texan.* Washington 1971.

[13] Brackett, C. *Producția și utilizarea cenușii în S.U.A.* Pennsylvania 1973.

[14] Smith, P. *Utilizarea numărului mare de tone de cenușă zburătoare în Anglia și alte țări europene.* Pennsylvania 1973.

[15] INCERTRANS — *Instrucțiuni tehnice pentru utilizarea cenușilor de termocentrală la prepararea betoanelor rutiere.* București, 1984.

[16] Laszlo, G. *Folosirea deșeurilor industriale la construirea drumurilor.* Budapesta 1980.

[17] LCPC — SETRA 1978. *Recommandation pour la realisation des assises de chaussées en graves-cendres volantes-chaux et sables-chaux.*

(Primit la 30 mai 1988, acceptat la 22 octombrie 1988)

NOUTĂȚI

Din energetica mondială

CIRED—1987—A NOUA CONFERINȚĂ INTERNAȚIONALĂ ÎN PROBLEMA REȚELELOR ELECTRICE DE DISTRIBUȚIE

La Liege, (Belgia) a avut loc în perioada 4—8 mai 1987 a 9-a Conferință a CIRED la care au participat 1150 delegați din 45 țări. Au avut loc șase ședințe de lucru. La conferință s-a organizat o expoziție specializată pentru echipamentele instalațiilor de distribuție și aparatele de măsură aferente la care au expus 25 de firme. Au fost expuse peste 100 rapoarte.

Cele mai actuale teme ale referatelor prezentate la secția 6 „*Proiectarea și dezvoltarea rețelelor de alimentare cu energie electrică, de utilitate generală*" au fost:

1. Proiectarea rețelelor electrice cu ajutorul calculatoarelor și a sistemelor grafice interactive.
2. Bănci grafice de date.
3. Dezvoltarea și proiectarea rețelelor electrice rurale.

La secție s-au prezentat 14 referate. A fost subliniată cooperarea CIGRE—CIRED în domeniul cercetării unor criterii tehnico-economice comune; metode unice de proiectare, transformarea optimă, calculul parametrilor și gradul de siguranță al aparaturii, gradul de automatizare a rețelelor electrice.

CIRED și a UPDEA (Uniunea Producătorilor și Distribuitorilor de Energie Electrică din țările Africii) au hotărît ca în 1988 să aibă loc Conferința cu tema „*Alimentarea electrică în țările în curs de dezvoltare*". S-a hotărît organizarea unui comitet comun CIGRE—CIRED. Se planifică, de asemenea, ca în perioada 8—12 mai 1989 să aibă loc în Marea Britanie a 10-a Conferință a CIRED.

(După: „Referativnîi jurnal" 22 Energhetika, vol. general nr. 1/1988, pozițiile 1 J 54 și 1 J 55)

* * *

Toate centralele electrice pe cărbune din R.F.G. vor fi dotate cu instalații de desulfurare a gazelor de ardere; această măsură a fost adoptată printr-o dispoziție guvernamentală și confirmată de Federația Companiilor de Electricitate și a Constructorilor de Centrale Electrice (VDEW).

Prin această măsură se va asigura desulfurarea a 35 000 MW din capacitatea totală de 40 000 MW. Restul de 5 000 MW corespunde centralelor care vor fi dezafectate până în 1993, funcționînd până atunci pe baza unor derogări.

Emisiile de bioxid de sulf din R.F.G. au fost reduse în mod considerabil începînd din 1983, cînd legea a intrat vigoare. Se apreciază că emisia de sulf din centralele electrice va fi cu 60% mai mică decît acum 10 ani

(Din: Modern Power Systems, iunie 1988, p. 3)

* * *

În urma unui șoc de putere au fost avariate trei grupuri de transformatoare, ceea ce a avut ca urmare scoaterea din funcțiune a nouă turbine de mare putere. Avaria a avut loc la stația de transformare de la Arnaud (aparținînd de compania Hydro-Quebec din Canada), situată lîngă Sept-Iles și a avut ca urmare întreruperi masive în alimentarea cu energie electrică a orașului Quebec.

Avaria s-a produs în aprilie 1988, în condiții atmosferice neprielnice, cînd sistemul computerizat a ieșit din funcțiune și nu a mai comandat descărcarea sarcinii, producîndu-se suprasarcini de durată în liniile și transformatoarele sistemului electroenergetic.

Se menționează că doar cu un an mai înainte, pentru îmbunătățirea fiabilității rețelei, guvernul a aprobat alocații de 600 milioane dolari.

(Din: Modern Power Systems, iunie 1988, p. 5)

Metodă de dimensionare a bazinelor compensatoare ale centralelor hidroelectrice în cascadă

Dr. ing. BORIS BORISEVICI *

Descriptori: centrale hidroelectrice, bazine compensatoare

CZ: 621.311.21

Articolul prezintă studiul analitic al efectului de regularizare a volumului unui bazin compensator intercalat într-o schemă de amenajare hidroenergetică în cascadă. Se obțin relații aproximative pentru determinarea pierderilor de stoc și de defalcare calitativă a energiei obținute prin prelucrarea debitelor pe diferența de bazin. Se prezintă de asemenea schema logică de calcul riguros a acestor parametri pe baza șirului hidrologic de debite zilnice.

The paper presents the analytical study of the levellind effect of the volume of a compensation reservoir introducee in a cascade hydropower plant scheme. Approximative relations for the determination of the flow losses and the qualitative division of the energy obtained by the flows processing for the reservoir differences are obtained. The logicol rigorous computation scheme of these parameters, based on the daily flows of the hydrologic line is presented.

În cadrul schemelor de amenajare hidroenergetică în cascadă a cursurilor de apă apare necesitatea amplasării în aval de unele din treptele cascadei (fig. 1) a unor bazine compensatoare cu volum limitat pentru satisfacerea următoarelor funcțiuni :

— regularizarea zilnică — orară a debitului q captat pe diferența de bazin ;

— trecerea de la debitul instalat Q_{i0} la centrala din amonte la debitul instalat Q_i la centrala din aval ;

— asigurarea elasticității în funcționare atunci cînd debitul instalat rămîne același ($Q_i = Q_{i0}$), avînd în vedere că din diverse motive în cursul funcționării apar variații între debitele amonte și aval.

Volumul bazinului compensator rezultă din condiția de evitare a pierderilor de stoc în procesul de compensare, sau în cazul în care această condiție implică un volum, respectiv investiții prea mari, din compararea energoeconomică a mai multor variante de volum, ținîndu-se seama de pierderile care intervin în procesul de compensare.

În continuare se prezintă o metodă de calcul simplă, bazată pe un studiu al efectului de compensare a volumului bazinului compensator pe durata unui ciclu de $t_0/2 = 12$ ore.

Se admite următoarea ipoteză de funcționare (fig. 2) :

— la timpul $t = 0$ bazinul compensator este gol ;

— centrala din amonte funcționează la vîrf cu debitul instalat Q_{i0} consumînd în timpul t stocul corespunzător debitului mediu zilnic Q conform planului de exploatare :

$$t = \frac{Qt_0}{2\,Q_{i0}}; \qquad (1)$$

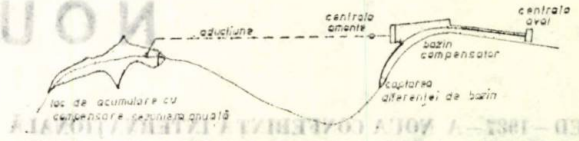


Fig 1. Schema de amenajare în cascadă a unui curs de apă cu bazin compensator.

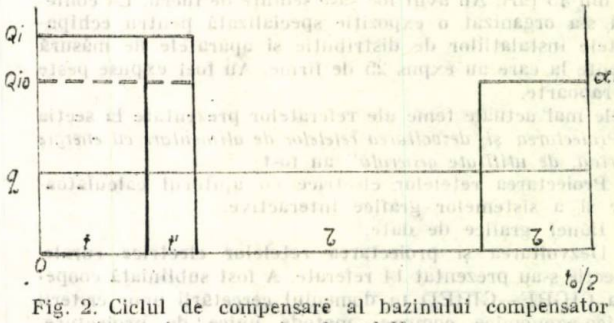


Fig. 2. Ciclul de compensare al bazinului compensator cu volumul V.

— centrala din aval funcționează în același timp la vîrf cu debitul instalat Q_i, diferența de capacitate

$$\Delta Q_i = Q_i - Q_{i0} \leqslant q_i \qquad (2)$$

fiind utilizată pentru prelucrarea debitului pe diferența de bazin q ;

— în intervalul următor de timp t' centrala din amonte este oprită, iar centrala din aval funcționează în continuare la Q_i, pentru consu-

* Dr. ing. Boris Borisevici — Institutul de Studii și Proiectări Hidroenergetice

mărea volumului de apă acumulat în perioada t.

Din aceste premise rezultă :

$$V \geqslant (q-\Delta Q_i)\, t = (Q_i-q)\, t'. \tag{3}$$

În intervalul τ ambele centrale sînt oprite, iar în bazinul compensator se acumulează un volum de apă în așa fel încît la sfîrșitul ciclului acesta să fie consumat în centrala din aval funcționînd cu debitul αQ_i.

Rezultă condiția :

$$V \geqslant q\tau = (\alpha Q_i + q)\, \tau'. \tag{4}$$

Din relațiile (1), (2) și (3) rezultă :

$$t' = \frac{(q-\Delta Q_i)t}{Q_i-q} = \frac{Q(q-\Delta Q_i)t_0}{2Q_{i0}(Q_i-q)}, \tag{5}$$

$$\tau' = \frac{\tau q}{\alpha Q_i - q}. \tag{6}$$

În egalitatea :

$$t+t'+\tau+\tau' = \frac{t_0}{2} \tag{7}$$

se introduc valorile stabilite mai sus :

$$\frac{Qt_0}{2Q_{i0}} + \frac{Q(q-\Delta Q_i)t_0}{2Q_{i0}(Q_i-q)} + \tau + \frac{\tau q}{\alpha Q_i - q} = \frac{t_0}{2}; \tag{8}$$

rezultă :

$$\tau = t_0 \frac{(\alpha Q_i - q)}{2\alpha Q_i(Q_i-q)}(Q_i-q-Q) \tag{9}$$

și condiția I :

$$V \geqslant \tau q = \frac{t_0(\alpha Q_i - q)(Q_i-q-Q)q}{2\alpha Q_i(Q_i-q)}, \tag{10}$$

în care la limită :

$$Q = Q_i - q - \frac{2V\alpha Q_i(Q_i-q)}{t_0(\alpha Q_i - q)q}. \tag{11}$$

Condiția II rezultă din relațiile (1) și (3) :

$$V \geqslant \frac{(q-\Delta Q_i)\, Qt_0}{2Q_{i0}} \tag{12}$$

și la limită :

$$Q = \frac{2VQ_{i0}}{t_0(q-\Delta Q_i)}. \tag{13}$$

Condiția III este evidentă :

$$Q + q \leqslant Q_i \tag{14}$$

și la limită :

$$Q = Q_i - q. \tag{15}$$

Condiția IV :

$$q \leqslant q_i. \tag{16}$$

Așadar, într-un sistem de coordonate Q, q condițiile I—IV determină un domeniu în care nu se produc pierderi de stoc datorită capacității de compensare a bazinului compensator (fig. 3).

Pentru condițiile I pierderea de debit nulă se realizează pentru $Q = 0$; $q = q_i$.

Rezultă :

$$V = \frac{t_0}{2\alpha}\frac{(\alpha Q_i - q)q_i}{Q_i}. \tag{17}$$

Dacă $\alpha Q_i - q = 0$ și $\alpha = \frac{q}{Q_i}$ este asigurat prin funcționare la capacitate parțială a centralei din aval nu este necesar volum de compensare pentru această condiție.

Condiția I pentru $\alpha = 1$ delimitează cuantumul de utilizare la bază a stocului pe diferențe de bazin la sfîrșitul ciclului.

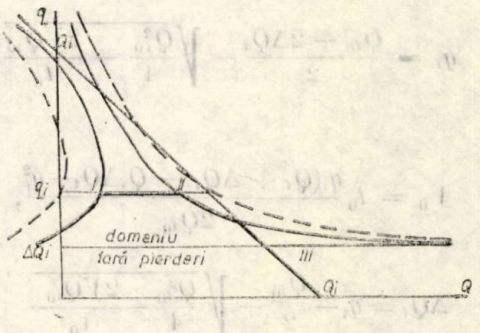


Fig. 3. Determinarea domeniului de compensare a bazinului compensatpr.

Rezultă că pierderile de debit sînt determinate numai de condițiile II, III și IV, care transpuse în figura 4 permit următoarele considerații :

În domeniul $Q_0 - Q_i$ și respectiv $q_i - Q_i$ nu apar pierderi de debit determinate de capacitatea bazinului. Aceste pierderi de debit apar în domeniile $Q_0 - Q_i$ și respectiv $q_0 - q_i$ și au valorile :

$$\Delta q = 0 \text{ la } Q_0,\ q_0 \text{ și la } Q_1,\ q_i,$$

$$\Delta q_{max} = q_i - \Delta Q_i - \frac{2VQ_i}{t_0(Q_i-q_i)}. \tag{18}$$

Din rezolvarea sistemului de ecuații (18, 14) rezultă :

$$q_0 = \frac{Q_i+\Delta Q_i}{2} - \sqrt{\frac{(Q_i-\Delta Q_i)^2}{4} - \frac{2VQ_{i0}}{t_0}}, \tag{19}$$

$$Q_0 = \frac{Q_i-\Delta Q_i}{2} + \sqrt{\frac{(Q_i-\Delta Q_i)^2}{4} - \frac{2VQ_{i0}}{t_0}}. \tag{20}$$

Pentru $q = q_i$ rezultă :

$$Q_1 = \frac{2VQ_{i0}}{t_0(q_i - \Delta Q_i)}. \quad (21)$$

Dacă în relația (19) se introduce $q_0 = q_i$ se obține volumul minim necesar pentru a avea

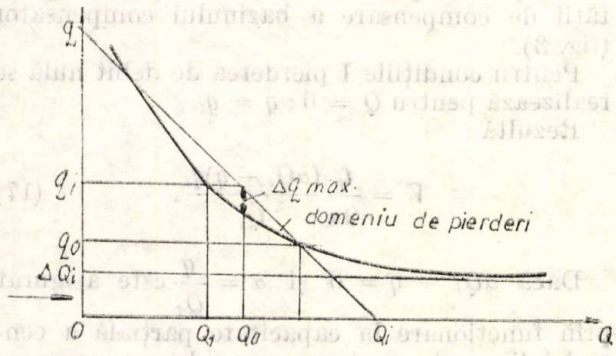


Fig. 4. Debite caracteristice în domeniul Q, q.

pierderi de debit nule din efectul de compensare :

$$q_i = \frac{Q_{i0} + 2\Delta Q_i}{2} - \sqrt{\frac{Q_{i0}^2}{4} - \frac{2VQ_{i0}}{t_0}} \quad (22)$$

și :

$$V_0 = t_0 \frac{q_i(Q_i + \Delta Q_i) - Q_i\Delta Q_i - q_i^2}{2Q_{i0}}, \quad (23)$$

$$\Delta Q_i = q_i - \frac{Q_{i0}}{2} + \sqrt{\frac{Q_{i0}^2}{4} - \frac{2VQ_{i0}}{t_0}}. \quad (24)$$

Dacă $V = 0$ se obține $\Delta Q_i = q_i$. În acest caz bazinul este necesar în măsura în care se dorește prelucrarea la vîrf în totalitate sau parțială a stocului captat pe diferențe de bazin.

Relația (24) pune problema optimizării energoeconomice a debitului instalat din centrala din aval în funcție de volumul bazinului compensator.

Pierderea medie de debit pe intervalul $Q_0 - Q_i$ se consideră a fi :

$$\Delta q_{med} = m\Delta q_{max}. \quad (25)$$

Coeficientul m se determină din următoarele considerente :

Pierderile de debit pe diferența de bazin se produc numai în timpul funcționării centralei în timpul t în cadrul unui ciclu și respectiv pe tot anul în timpul :

$$T = \frac{\varepsilon_{Q_{i0}} Q_m}{Q_{i0}}. \quad (26)$$

În lipsa unui bazin compensator pierderea medie anuală rezultă :

$$\Delta q_{med} = (\varepsilon_{q_i} - \varepsilon_{\Delta Q_i}) q_m \frac{\varepsilon_{Q_{i0}} Q_m}{Q_{i0}}. \quad (27)$$

Pierderea maximă este :

$\Delta q_{max} = q_i - \Delta Q_i$ în intervalul de timp 0—1. Rezultă :

$$m = \frac{q_m(\varepsilon_{q_i} - \varepsilon_{\Delta Q_i})\varepsilon_{Q_{i0}} Q_m}{(q_i - \Delta Q_i)Q_{i0}}, \quad (28)$$

unde ε_{q_i}, $\varepsilon_{\Delta Q_i}$, $\varepsilon_{Q_{i0}}$ sînt coeficienți de utilizare a stocului la debitele respective.

În cazul în care debitul instalat în centrala din aval este mai mic decît cel instalat în centrala din amonte, relațiile stabilite pentru cazul $Q_i > Q_{i0}$ se modifică după cum urmează :

$$q_0 = \frac{Q_i - \Delta Q_i}{2} - \sqrt{\frac{(Q_i + \Delta Q_i)^2}{4} - \frac{2VQ_{i0}}{t_0}}, \quad (29)$$

$$Q_0 = \frac{Q_i + \Delta Q_i}{2} + \sqrt{\frac{(Q_i + \Delta Q_i)^2}{4} - \frac{2VQ_{i0}}{t_0}}, \quad (30)$$

$$Q_1 = \frac{2VQ_{i0}}{t_0(q_i + \Delta Q_i)}, \quad (31)$$

$$\Delta q_{max} = q_i + \Delta Q_i - \frac{2VQ_{i0}}{t_0(Q_i - q_i)}, \quad (32)$$

$$V_0 = t_0 \frac{q_i(Q_i - \Delta Q_i) + Q_i\Delta Q_i - q_i^2}{2Q_{i0}}. \quad (33)$$

În lipsa bazinului compensator, în acest caz pe durata T, se produc pierderi de debit atît din cele uzinate din amonte, cît și din diferența de bazin :

$$m = \frac{q_m}{q_i + \Delta Q_i}\left[\varepsilon_{q_i} + (\varepsilon_{Q_{i0}} - \varepsilon_{Q_i})\frac{Q_m}{q_m}\right]\frac{\varepsilon_{Q_{i0}} Q_m}{Q_{i0}}. \quad (34)$$

În cazul $Q_i = Q_{i0}$ expresiile devin :

$$q_0 = \frac{Q_{i0}}{2} - \sqrt{\frac{Q_{i0}^2}{4} - \frac{2VQ_{i0}}{t_0}}, \quad (35)$$

$$Q_0 = \frac{Q_{i0}}{2} + \sqrt{\frac{Q_{i0}^2}{4} - \frac{2VQ_{i0}}{t_0}}, \quad (36)$$

$$Q_1 = \frac{2VQ_{i0}}{t_0 q_i}, \tag{37}$$

$$\Delta q_{max} = q_i - \frac{2VQ_{i0}}{t_0(Q_{i0} - q_i)}, \tag{38}$$

$$V_0 = t_0 \frac{q_i(Q_{i0} - q_i)}{2Q_{i0}}, \tag{39}$$

$$m = \frac{\varepsilon_{q_i}\varepsilon_{Q_{i0}} q_m Q_m}{q_i Q_{i0}}. \tag{40}$$

Valorile Q_0; Q_1 și q_0; q_i determină pe curbele de durată ale debitelor medii zilnice uzinate de centrala din amonte, respectiv pe cele ale debitelor medii zilnice pe diferența de bazin intervale de timp ΔT și respectiv Δt, exprimate în unități adimensionale (fig. 5).

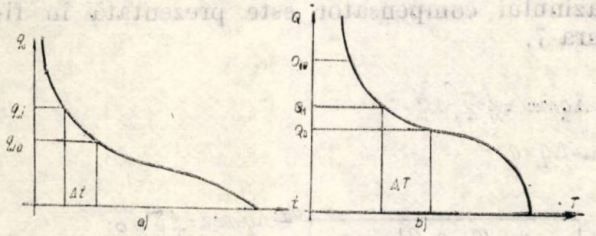


Fig. 5. Curbele de durată ale debitelor pe diferența de bazin (a) și ale debitelor uzinate în centrala din amonte (b).

În aceste intervale de timp interesează numai perioadele în care debitele Q, q sînt simultane și se încadrează în domeniul de pierdere definit în figura 4.

Simultaneitatea totală se obține la $V = 0$, cînd intervalele de timp devin $\Delta t = 1$, $\Delta T = 1$. Probabilitatea de simultaneitate a debitelor Q, q scade odată cu reducerea intervalelor Δt, ΔT, respectiv cînd $V \to V_0$. Admițînd o variație liniară a gradului de simultaneitate de la $V = 0$ la V_0 se obține:

$$\theta = \frac{\Delta T + \Delta t}{2}\left(1 - \frac{V}{V_0}\right). \tag{41}$$

Pierderea aproximativă de debit medie anuală determinată de capacitatea de compensare a bazinului compensator, rezultă:

$$\Delta q_{med.an.} = m\Delta q_{max}\theta. \tag{42}$$

Soluția riguroasă constă în determinarea pierderii de debit pentru valorile medii zilnice ale debitelor Q, q și pentru un volum de compensare V pentru perioada hidrologică de calcul de n zile:

$$\Delta q = \frac{Q(q - \Delta Q_i)}{Q_{i0}} - \frac{2V}{t_0} \quad \text{și} \quad \Delta q_{med} = \frac{1}{n}\sum_1^n \Delta q. \tag{43}$$

Revenind la condiția I, volumul V al bazinului compensator fiind determinat tehnico-economic, debitul de funcționare al centralei din aval la sfîrșitul ciclului αQ_i rezultă din condiția de a nu se introduce pierderi suplimentare:

$$\alpha = \frac{q_i}{Q_i} \cdot \frac{1}{1 - \frac{2V}{t_0 q_i}}. \tag{44}$$

Dacă $\alpha = 1$ condiția I (relația 11) devine:

$$Q = Q_i - q - \frac{2VQ_i}{t_0 q}. \tag{45}$$

Relația (45) determină în planul q, Q domeniul de utilizare la bază a stocului pe diferența de bazin (fig. 6) definit de următoarele valori:

$$q' = \frac{Q_i}{2} - \sqrt{\frac{Q_i^2}{4} - \frac{2VQ_i}{t_0}}, \tag{46}$$

$$Q_0' = Q_i - q_i - \frac{2VQ_i}{t_0 q_i}, \tag{47}$$

sau rezultă din intersecția grafică a curbelor I și II (relațiile 45 și 13).

Debitele captate q utilizate la bază apar în intervalele $0 - Q_0'$ și respectiv $q_0' - q_i$ și au valorile limită:

$$\Delta q' = 0 \text{ la } Q = Q_0', \tag{48}$$

$$\Delta q'_{max} = q_i - \frac{Q_i}{2} - \sqrt{\frac{Q_i^2}{4} - \frac{2VQ_i}{t_0}} \quad \text{la} \quad Q = 0, \tag{49}$$

$$\Delta q'_{med} = m'\Delta q'_{max}. \tag{50}$$

Volumul necesar pentru prelucrarea integrală la vîrf este:

$$V_0' = \frac{t_0}{2}\frac{(Q_i - q_i)q_i}{Q_i}. \tag{51}$$

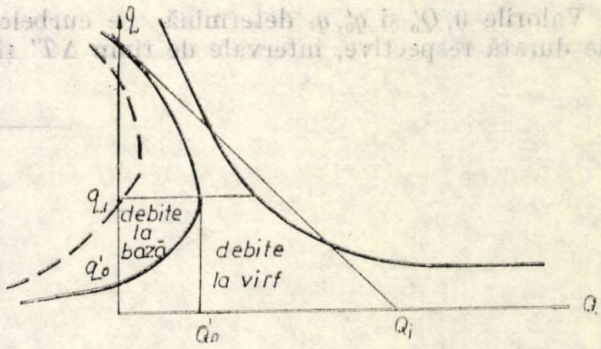


Fig. 6. Delimitarea domeniului de utilizare la vîrf a debitelor pe diferența de bazin.

Cînd $V = 0$ stocul prelucrat la bază în cadrul unui ciclu rezultă scăzînd din stocul total pierderile și stocul prelucrat la vîrf :

$$\Delta q \frac{t_0}{2} = q \frac{t_0}{2} - \Delta q'_{med} \frac{t_0}{2} - \Delta Q_i t.$$

Media anuală ținînd seama de relațiile (27) și (1) este :

$$\Delta q'_{med} = \varepsilon_{q_i} q_m - (\varepsilon_{q_i} - \varepsilon_{\Delta Q_i}) q_m \frac{\varepsilon_{Q_i} Q_m}{Q_{i0}} - \Delta Q_i \frac{\varepsilon_{Q_{i0}} Q_m}{Q_{i0}} \tag{52}$$

și

$$m' = \frac{q_m}{q_i} \left\{ \varepsilon_{q_i} - \left[\varepsilon_{q_i} - \varepsilon_{\Delta Q_i} + \frac{\Delta Q_i}{q_m} \right] \frac{\varepsilon_{Q_{i0}} Q_m}{Q_{i0}} \right. \tag{53}$$

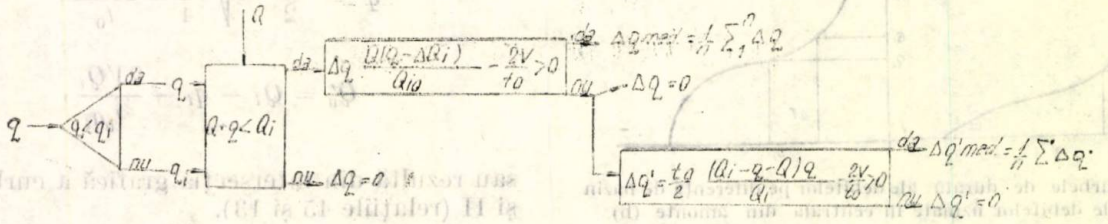


Fig. 7. Schema logică pentru calculul pierderilor de debit Δq și a debitului prelucrat la bază $\Delta q'$.

În cazul $Q_i < Q_{i0}$ și $V = 0$ stocul prelucrat la bază rezultă din stocul total din care se scad pierderile (34) și stocul prelucrat la vîrf cu Q_i. Rezultă :

$$m' = \frac{q_m}{q_i} \left\{ \varepsilon_{q_i} - \left[\varepsilon_{q_i} + (\varepsilon_{Q_{i0}} - \varepsilon_{Q_i}) \frac{Q_m}{q_m} - \frac{\Delta Q_i}{q_m} \right] \frac{\varepsilon_{Q_{i0}} Q_m}{Q_{i0}} \right. \tag{54}$$

În cazul $Q_i = Q_{i0}$;

$$m' = \frac{q_m}{q_m} \left(\varepsilon_{q_i} - \varepsilon_{q_i} \frac{\varepsilon_{Q_{i0}} Q_m}{Q_{i0}} \right). \tag{55}$$

Valorile $0, Q'_0$ și q'_0, q_i determină pe curbele de durată respective, intervale de timp $\Delta T'$ și $\Delta t'$ și similar cu (4) se obține aproximativ :

$$\theta' = \frac{\Delta T' + \Delta t'}{2} \left(1 - \frac{V}{V'_0} \right), \tag{56}$$

$$\Delta q'_{med,an} = m' \Delta q'_{max} \theta'. \tag{57}$$

Soluția riguroasă este :

$$\Delta q' = \frac{t_0}{2} \frac{(Q_i - q - Q) q}{Q_i} - \frac{2V}{t_0} \quad \text{și}$$

$$\Delta q'_{med} = \frac{1}{n} \sum_1^n \Delta q'. \tag{58}$$

Schema logică, programabilă la calculator, pentru determinarea riguroasă a pierderilor de debit și a debitului mediu prelucrat la bază datorită capacității limitate de compensare a bazinului compensator este prezentată în figura 7.

Concluzii

Studiul analitic al efectului de regularizare a volumului unui bazin compensator intercalat într-o schemă de amenajare hidroenergetică în cascadă, permite stabilirea unor relații simple de determinare a pierderilor de stoc, respectiv de energie și de defalcare calitativă a energiei obținute prin prelucrarea debitelor pe diferența de bazin.

Datele obținute permit optimizarea debitului instalat al centralelor din aval concomitent cu volumul bazinului compensator.

(Primit la 14 septembrie 1988, acceptat la 22 octombrie 1988)

Tratarea neutrului rețelelor de medie tensiune prin rezistor economic

Dr. ing. LAURENȚIU M. GOIA, ing. AURELIAN ȘERBAN *

Descriptori: rețele electrice, tratarea neutrului

CZ: 621.311.1:621.3.027.2

Articolul prezintă o soluție originală, cu importante avantaje economice, de realizare a rezistoarelor de tratare a neutrului rețelelor de medie tensiune — aeriene, subterane sau mixte.

Rezistorul propus este conceput sub forma unei prize de pământ plantată în bentonită, la o adâncime convenabilă și separată de instalația de legare la pământ a stației în care se folosește.

Soluția este aplicabilă în toate rețelele care folosesc tratarea neutrului prin rezistor.

Se prezintă principalele elemente de proiectare și concluziile trase în urma experimentării pe o perioadă îndelungată (cinci ani), inclusiv recomandările reieșite din experimentarea soluției în practică.

The paper presents an original economically very profitable solution for the neuter treatment of overhead, underground or mixed medium voltage networks.

The proposed resistor has the shape of an earthing plate plunged in a bentonite support in a convenient depth and separated from the yard's earthing installation.

This solution can be applied in all the networks where the neuter treatment by resistor is used.

The main design elements and the conclusions of long range testing (five years) as well as the indications resulted from the practical application testing are presented.

Resistor for Economical Neutral Treatment at Medium Voltage Networks

(Condensed from the paper in Romanian)

The paper presents an economical alternative of the neutral treatment resistor at medium voltage overhead, underground or combined networks. This resistor is formed as an earth plate embedded in a bentonite layer. Among the alternatives tested in operation and presented in Figures 1, 2 and 3, the best in point of results is that in Figure 2, where the resistor earth plate is made up of a zinc steel plate vertically mounted in bentonite, at the bottom of a drilled cavity. The burying depth must be chosen thus as to prevent contact and step voltages that occur at the ground level, in case of a fault current that flows through the resistor (simple ground fault), in a range of values allowed by specifications.

The sizes of the resistor and of the bentonite layer depend on several technical conditions:

— required resistance (relations 4,5,6);

— thermal stress at maximum fault current during the auxiliary protection time;

— local earth resistivity at the burying depth of the resistor.

The resistor dewign computations should not ignore the quality and parameters of the used bentonite layer, a layer with favourable effects as to the thermal stability of the plate, its resistance reduction, the anti-corrosive protection of its metallic components and the reduction of the seasonal of its resistance.

The resistors manufactured as earth plates display important economic advantages as compared to the ordinary metallic resistors.

The operation experience of over five years, since they have been introduced within the transformer sub-stations, has demonstrated that they represent a much simpler technical alternative that meets the sensitivity and selectivity requirements of the protections used within such networks. These protections schemes are presented in Figure 4.

In order to test the protection operation at different network faults, a series of live line tests have been carried out. Their results have been proven as correct, the protections as suitable and the alternative as most competitive. These tests have been repeated after the testing period and they have proven again that the adopted alternative is correct (Figure 5).

In order to limit the seasonal variation of the resistor dissipation resistance R_N, its recommended burying depth has been settled at over 3 m.

Consequently, the authors recommend the implementation of this resistor which displays the following advantages, as compared to the conventional variant:

— simple construction;

— low cost;

— easy to apply in transformer sub-stations.

Since visual inspection in operation is impossible, eventual disturbances, liable to occur to such a resistor, can be detected due to the operation disturbances of the line protections and can be certified by measuring the plate dissipation resistance employing the voltameter method.

* Dr. ing. Laurențiu Goia — Institutul de Cercetări și Modernizări Energetice București, ing. Aurelian Șerban IRE Ploiești.

Introducere

În ultimul timp, o răspîndire tot mai mare o are în rețelele de medie tensiune (MT) din țara noastră tratarea neutrului prin rezistor de limitare, atît în rețelele în cablu, cît și cele aeriene. În toate cazurile se folosesc pentru limitarea curentului de defect rezistoare metalice, în majoritatea cazurilor din crom-nichel, montate în cutii supraterane grele fixate pe fundații de beton adînci, care se conectează la neutrul natural al transformatoarelor de 110/MT kV sau la neutre artificiale, create prin intermediul unor bobine speciale de punct neutru (BPN) sau al transformatoarelor de servicii proprii (TSP).

Tendința de a simplifica instalațiile de tratare a neutrului care reprezintă costuri de investiții importante, consum de materiale din import și creșterea volumelor ocupate de stațiile de transformare a condus la noi soluții constructive care pot fi adoptate atît la instalațiile existente, cît și la instalațiile noi.

Soluția autorilor, încercată în ICEMENERG [1] și apoi aplicată și experimentată la IRE Ploiești constă într-un rezistor economic, realizat sub forma unei prize de pămînt, separată de priza de protecție a stației în care se aplică. Ea se poate aplica în toate rețelele care folosesc tratarea cu rezistență, indiferent dacă este cazul unor rețele aeriene sau unor rețele în cablu.

Rezistorul a fost aplicat practic și experimentat o perioadă îndelungată (peste 5 ani) în stația Columbia a IRE Ploiești, în contextul utilizării protecțiilor homopolare de curent și tensiune, de punere la masă a barelor de medie tensiune și homopolară direcțională de curent (în cazul creării neutrului artificial prin intermediul TSP). Soluția a dat satisfacție în exploatare în perioada de experimentare (iunie 1982 — decembrie 1987). Pe baza datelor acumulate în cadrul experimentărilor și urmăririi comportării în exploatare s-au găsit soluții perfecționate de realizare a rezistorului.

În lucrarea de față se prezintă principalele date de proiectare și rezultatele concrete obținute la aplicarea soluției în stația Columbia, stația Ploiești Est și stația Rimnicul Sărat aparținînd IRE Ploiești.

1. Realizarea rezistorului de tratare a neutronului

Primul rezistor montat în stația Columbia 110/20 kV a fost realizat sub forma unei prize de pămînt de tip placă orizontală, montată în bentonită (fig. 1).

Pentru a avea tensiuni de atingere și de pas cît mai mici, este bine ca adîncimea de îngropare să fie cît mai mare. Amplasarea rezistorului (rezistenței) la o adîncime mai mare de 2—3 m nu ridică probleme din punctul de vedere al asigurării tensiunilor de pas în condițiile noilor reglementări din STAS 2612 și 7334.

Plantarea în strat de betonită asigură o rezistență de trecere ceva mai redusă decît a plăcii simple montate direct în sol și crește stabilitatea termică a prizei de pămînt la defectul nedeconectat de protecție. Grosimea plăcii se stabilește exclusiv din considerente mecanice și de coroziune. (Electrozii verticali se utilizează numai în cazul în care solul are o rezistivitate extrem de mare, ceea ce ar face necesare plăci orizontale de dimensiuni peste 1 m diametru).

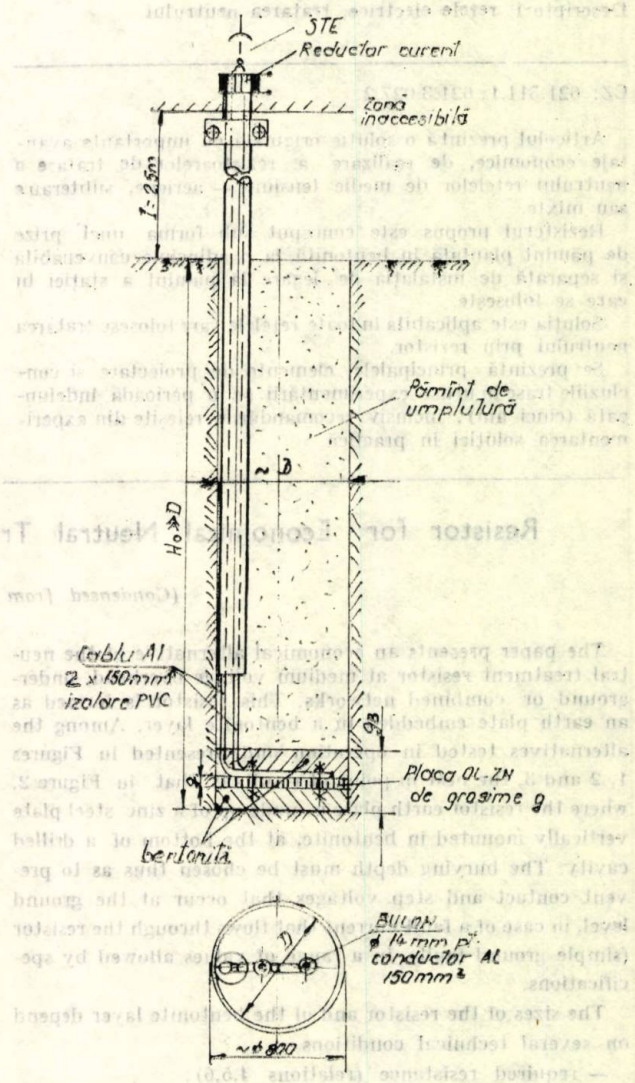


Fig. 1. Rezistor din placă metalică orizontală în stația Columbia.

Principala influență privind limitarea oscilațiilor sezoniere o are adîncimea de plantare a electrozilor.

Pentru a asigura variații în limitele ±20% a valorii rezistenței de dispersie adîncimea de plantare trebuie să depășească 3 m. În acest caz, este adecvată efectuarea gropii prin procedeul de forare.

La primele rezistoare construite (st. Columbia), din motive obiective, adîncimea de plan-

tare a fost mai mică (de ordinul 1,5 m). Din acest motiv, variațiile sezoniere ale rezistenței prizei au fost mari. În cei 5 ani de funcționare rezistența prizelor a variat între 22 și 40 Ω (±30% față de valoarea medie de 31Ω). Valoarea minimă a rezistenței a fost cea de la montare (22Ω). Variațiile mari ale rezistenței de dispersie nu au avut însă influențe asupra funcționării protecțiilor din stație.

Un alt element negativ scos în evidență de experimentările rezistoarelor din stația Columbia a fost soluția montării orizontale a plăcii. Aceasta a făcut ca la acoperirea cu pământ a stratului superior de bentonită, o parte din aceasta să fie împinsă în exterior de pământul de umplutură, faptul contribuind la o comportare mai slabă în exploatare a acestei prize, atît în ceea ce privește variația sezonieră, cît și din punctul de vedere al stabilității termice a rezistorului.

Din acest motiv, trebuie preferată efectuarea unei gropi de diametru mai mare și practicarea unui orificiu paralelipipedic suplimentar, în interiorul căruia placa rezistorului să se monteze vertical și să fie înconjurată de bentonită pe părțile laterale. În acest fel, prin variația înălțimii bentonitei se poate asigura o mai exactă corelare a rezistenței rezistorului cu cea necesară, stabilitate termică mai bună și o variație sezonieră mai redusă a rezistenței prizei. Această soluție s-a aplicat la stația 110/6 kV Ploiești Est, unde, datorită adîncimii mai mari de plantare ($h > 3$ m) și plasării verticale a plăcii, variațiile sezoniere nu au depășit ± 10% față de valoarea medie a rezistenței, ceea ce este un avantaj important în exploatarea rețelei tratată cu rezistor (fig. 2).

În solurile cu rezistivitate redusă, la stațiile ce asigură alimentarea rețelelor aeriene se poate folosi și o soluție de rezistor sub forma unui țăruș vertical, plantat prin forare manuală montat într-un tub din PVC. Calculul unei prize de acest gen e mai dificil de realizat, deoarece el implică o corelare a lungimii țărușului neizolat cu stabilitatea sa termică la curentul de defect și la timpul protecției de rezervă, dar execuția

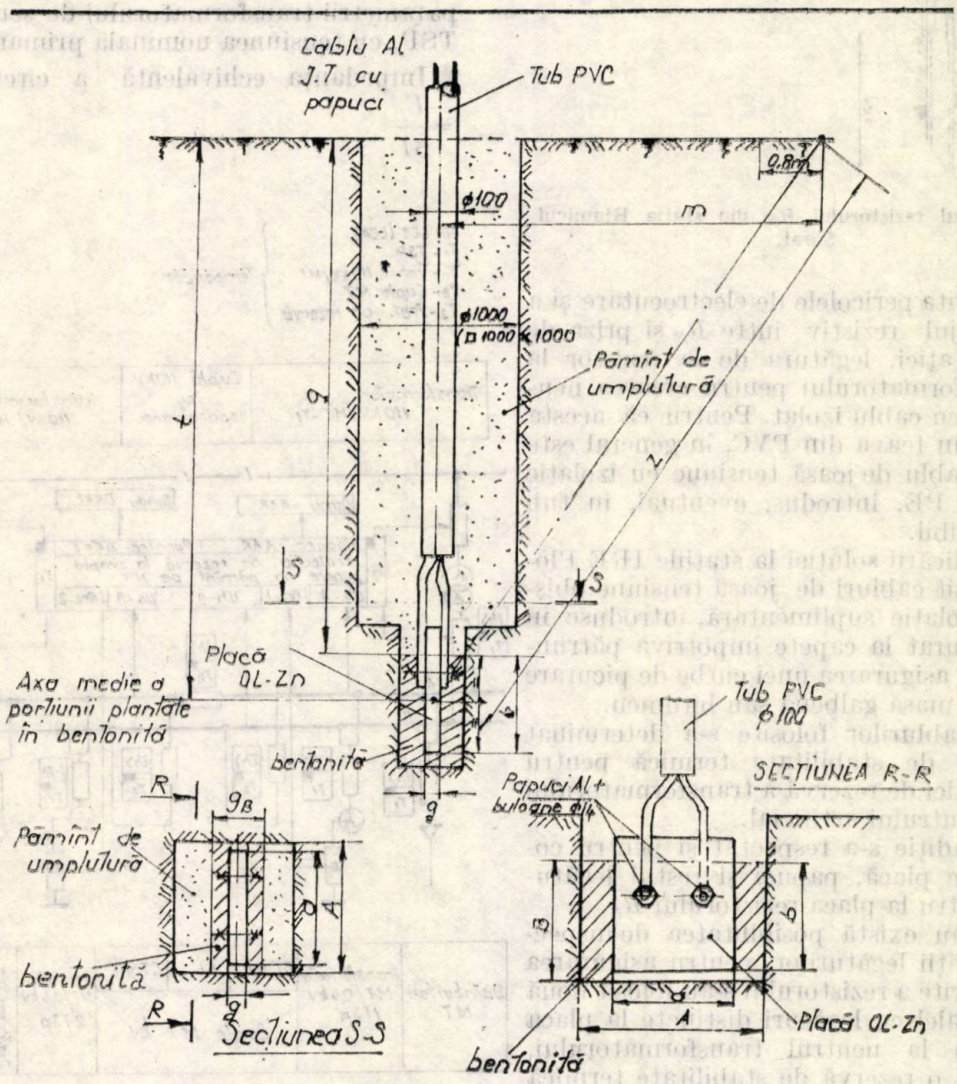


Fig. 2. Rezistor cu placă montată în poziție verticală.

tehnică se bazează pe utilaje uşor de manevrat şi care nu consumă combustibil. Schiţa unui rezistor de acest tip este prezentată în figura 3. El s-a aplicat la staţia 110/20/6 kV Rîmnicu Sărat.

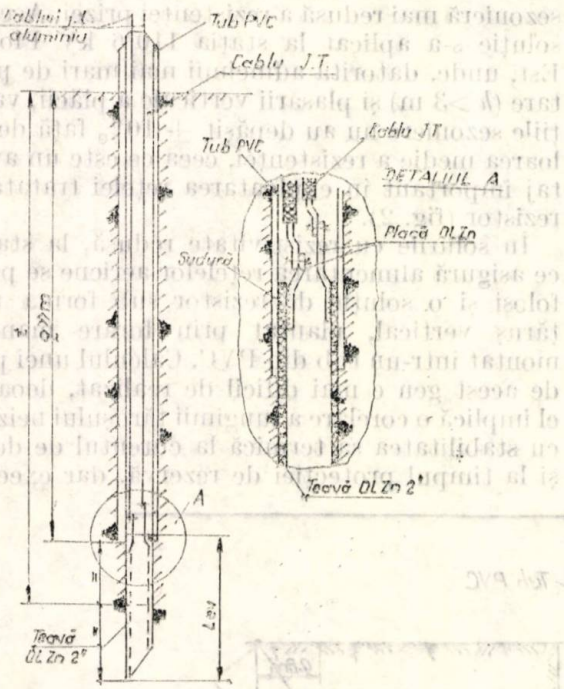


Fig. 3. Aspectul rezistorului R_N din staţia Rîmnicul Sărat.

Pentru a evita pericolele de electrocutare şi a micşora cuplajul rezistiv între R_N şi priza de protecţie a staţiei, legătura de la rezistor la neutrul transformatorului pentru crearea neutrului se face cu cablu izolat. Pentru că acesta este introdus în ţeava din PVC, în general este suficient un cablu de joasă tensiune cu izolaţie din PVC sau PE, introdus, eventual, în tub termocontractibil.

În cazul aplicării soluţiei la staţiile IRE Ploieşti s-au folosit cabluri de joasă tensiune obişnuite, fără izolaţie suplimentară, introduse în tub PVC asigurat la capete împotriva pătrunderii ploii prin asigurarea unei curbe de picurare şi etanşare cu masă galbenă sau bitumen.

Secţiunea cablurilor folosite s-a determinat din condiţiile de stabilitate termică pentru timpul protecţiei de rezervă a transformatorului de creare a neutrului artificial.

Această condiţie s-a respectat şi pentru conexiunile între placă, papuci şi restul legăturilor de la neutru la placa rezistorului R_N.

Deoarece nu există posibilitatea de inspectare a integrităţii legăturilor, pentru asigurarea fiabilităţii sporite a rezistorului s-au folosit două cabluri în paralel cu legături distincte la placa rezistorului şi la neutrul transformatorului. Pentru a avea o rezervă de stabilitate termică mare cablurile utilizate au avut secţiunea de 2×150 mm^2 Al. Conexiunile între cablu şi placă s-au protejat anticorosiv cu vaselină tehnică neutră. O protecţie anticorosivă suplimentară o realizează şi stratul de bentonită utilizat la confecţionarea rezistorului.

Pentru a asigura o influenţă prin cuplaj rezistiv şi galvanic cît mai redusă cu priza de protecţie a staţiilor în care s-au aplicat, rezistoarele R_N s-au plantat într-o zonă depărtată de benzile orizontale ale prizelor staţiei şi fără de electrozi verticali. În acest mod, tensiunile induse în priza staţiei la trecerea curentului de defect prin priza R_N au fost — după cum au atestat măsurările — practic neglijabile.

Protecţiile aplicate în staţii au fost indicate în schema de principiu din figura 4.

2. Calculul rezistorului tip priză de pămînt

Ca şi în cazul rezistorului metalic, calculul porneşte de la stabilirea valorii rezistenţei necesare pentru limitarea curentului maxim stabilizat de defect monofazat I ţinînd seama de parametrii transformatorului de servicii proprii TSP, cu tensiunea nominală primară U :

Impedanţa echivalentă a circuitului $Z_e = \frac{U}{3I}$ (1)

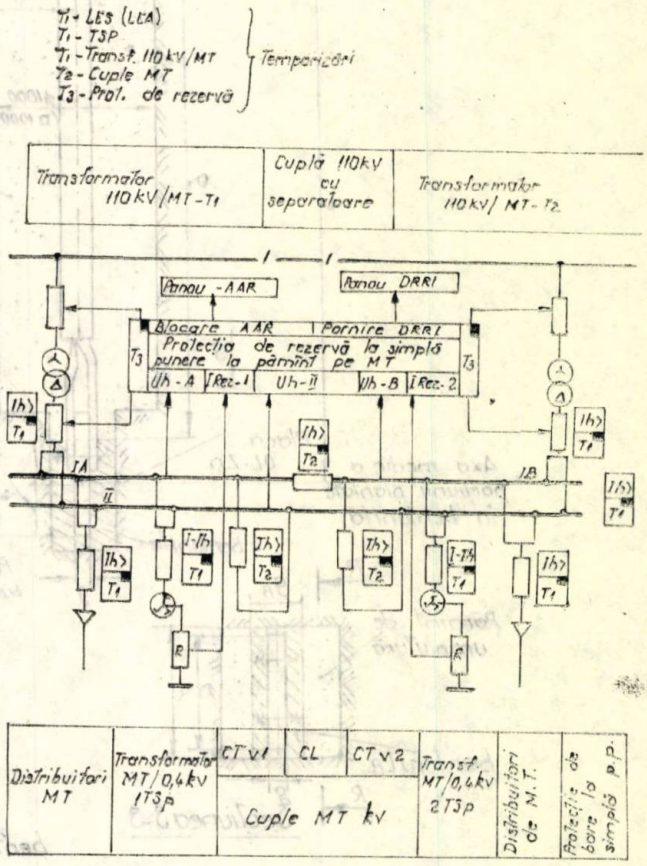


Fig. 4. Protecţii montate în staţia Columbia.

Rezistența ohmică echivalentă:

$$R_e^2 = Z_e^2 - X_{0T}^2. \quad (2)$$

Rezistența rezistorului R_N este atunci:

$$R_N = R_e - R_T, \quad (3)$$

unde X_{0T}, R_T reprezintă reactanța homopolară, respectiv rezistența ohmică a TSP.

În majoritatea cazurilor, parametrii transformatorului pot fi neglijați față de R_N, în special în cazul tratării neutrului rețelelor aeriene, așa că rezistențele rezistoarelor folosite pot fi din gama standardizată a celor de tip metalic:

$$R_N = \frac{U}{\sqrt{3}I}. \quad (4)$$

Calculul rezistorului de tratare urmărește respectarea valorilor date de (4) sau (3) și pornește de la mărimea rezistivității solului la adîncimea de plantare ρ, determinată cu ajutorul electrodului de control.

Rezistența de dispersie R_N

— Pentru priza tip placă orizontală sau verticală cu dimensiuni $a \times b = \pi D^2/4$ plantată la adîncimea t:

$$R_N = \frac{K_b \rho}{8}\sqrt{\frac{\pi}{ab}}\left\{1 + \frac{2}{\pi}\arcsin\sqrt{\frac{1}{1+\frac{4\pi t^2}{ab}}}\right\} \cong$$

$$\cong \frac{K_b \rho}{\sqrt{ab}}, \quad (5)$$

unde K_b este un coeficient de reducere adimensional datorat bentonitei (0,75 — 0,85).

Dacă placa este plantată în poziția verticală cu înălțimea b și partea superioară la adîncimea $q > 1\text{m}$: $t = q + \frac{b}{2}$ (b este înălțimea părții din bentonită).

— Pentru priza tip electrod vertical cu diametrul d și lungimea l_{ev} avînd partea superioară îngropată la adîncimea $q > 1\text{m}$, $t = q + \frac{l}{2}$:

$$R_N = 0{,}366\frac{\rho}{l}\left[\log\frac{2l}{d} + \frac{1}{2}\log\frac{4t+l}{4t-l}\right]. \quad (6)$$

Dimensiunile a, b, t, g, D, l_{ev}, d se pot urmări în figurile 1—3.

Stabilitatea termică

— Solicitarea termică dată de trecerea curentului de la placa metalică la stratul de bentonită:

$$2\{ab + (a+b)\,g\} \geq I\sqrt{\frac{\rho_B t}{C_B(\theta_{max} - \theta_0)}}. \quad (7)$$

— Solicitarea termică dată de trecerea curentului de la stratul de bentonită la sol (sau de la electrozi la sol în lipsa bentonitei):

$$2\{AB + (A+B)g_B\} \geq I\sqrt{\frac{\rho t}{C(\theta_{max} - \theta_0)}}, \quad (8)$$

$$\pi d l_{ev} \geq I\sqrt{\frac{\rho t}{C(\theta_{max} - \theta_0)}}, \quad (9)$$

unde:

ρ_B este rezistivitatea bentonitei (Ωm);
A, B — dimensiunile stratului de bentonită (m);
C_B — căldura specifică a bentonitei ($2{,}5 \cdot 10^6$ J/m^3 °C);
C — căldura specifică a solului;
g, g_B — grosimea plăcii, respectiv a stratului de bentonită (m);
$\theta_{max} - \theta_0$ — creșterea admisibilă a temperaturii, °C (65—75°C);
t — durata defectului (s), cu 1—2 trepte mai mare decît temporizarea protecției de rezervă a transformatorului pentru crearea neutrului artificial (natural) la care se conectează R_N.

Tensiunile accidentale

Pentru calculul tensiunilor pe suprafața solului V_M produse de trecerea curentului prin rezistor și a tensiunilor de pas U_{pas} (ori de atingere, între părțile metalice legate la priza de pămînt a stației și punctele de pe sol aflate la 0,8 m de acestea) se pot folosi cu bună aproximație relațiile corespunzătoare prizei tip sferă. Astfel:

$$V_M = \frac{I\rho}{2\pi\sqrt{t^2 + m^2}};$$

$$U_{pas} = V_{M_1} - V_M = \frac{I\rho}{2\pi}\left\{\frac{1}{(t^2+m^2)^{1/2}} - \right.$$

$$\left. - \frac{1}{\sqrt{t^2+(m+0{,}8)^2}}\right\}, \quad (10)$$

unde m este distanța pe orizontală între axa prizei și punctul în care se calculează potențialul respectiv (vezi figura 2).

3. Probe efectuate asupra rezistoarelor

Asupra rezistoarelor montate în stațiile IRE Ploiești au fost efectuate o serie de încercări și probe în condiții similare condițiilor reale de funcționare a rezistoarelor. Cele mai semnificative s-au făcut asupra rezistoarelor din stația Columbia. Ele s-au inițiat în momentul realizării rezistoarelor prin măsurarea rezistenței ohmice cu aparatele de măsurat prize de pămînt și cu metoda voltampermetrică.

Probele complexe, constînd în verificări ale funcționării rezistoarelor și protecțiilor la defecte în rețeaua de 20 kV, au fost făcute la pu-

nerea în funcțiune a sectorului experimental tratat cu rezistor de limitare de tipul priză de pămînt (rețea de cablu 20 kV cu izolație din hîrtie și polietilenă tip A2YsY cu curent capacitiv de ordinul 264 A). Acestea au fost repetate în decembrie 1987, cînd s-a verificat comportarea rezistoarelor la curentul de defect și funcționarea protecției prin relee în diferite condiții de defect provocat.

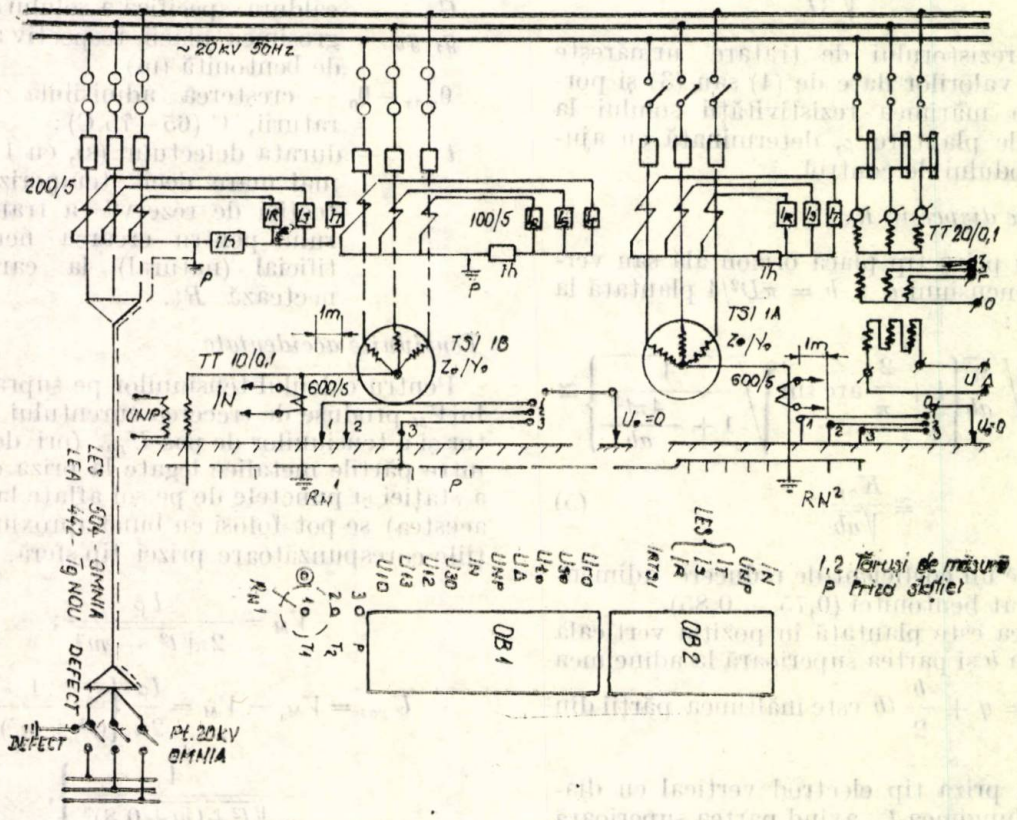
La probe s-au simulat :

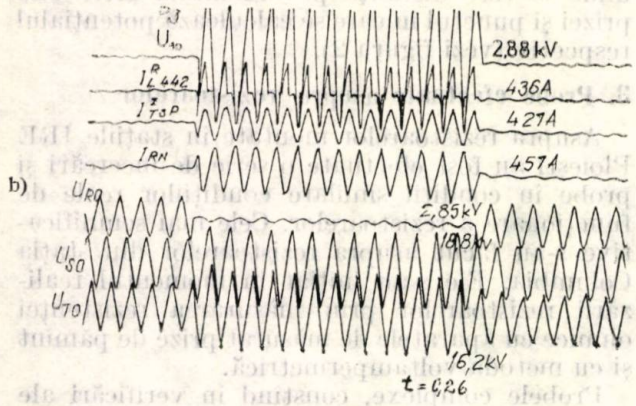
— punerea la pămînt simplă în stația 110/20 kV Columbia ;

— punerea la pămînt în PT 504 — Omnia ;

— punerea la pămînt pe LEA 20 kV Tg. Nou.

Pentru a verifica funcționarea protecțiilor la diferite defecte s-au anulat anumite protecții din stație, declanșările fiind preluate de protecțiile de rezervă și suplimentare. Schema de principiu a probelor efectuate este prezentată în figura 5 *a*, în care se indică și mărimile înregistrate. Cu ocazia experimentărilor s-au înregistrat curentul de defect prin priza R_N, prin linia de punere la pămînt, pe transformatorul de creare a neutrului și pe transformatorul principal de alimentare, funcționarea protecțiilor principale, de rezervă și auxiliare, tensiunile de atingere, duratele defectelor etc.





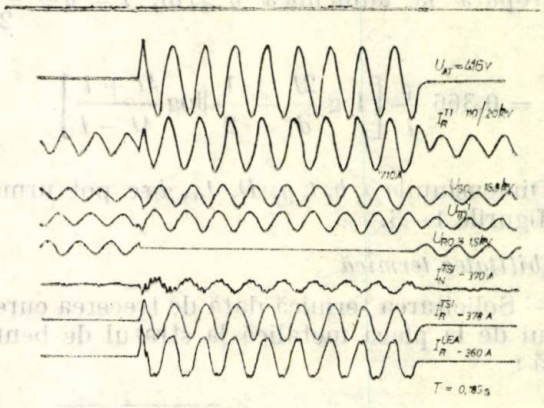


Fig. 5. Mărimi înregistrate la probe în stația Columbia : a — schema de principiu a probelor ; b — proba 3, punere în funcțiune 1982, scurtcircuit monofazat LEA, faza R ; c — proba 1, decembrie 1987, scurtcircuit monofazat LEA 20 kV, faza R.

Tabelul 1

Rezultate obținute la probele asupra rezistorului R_N din stația Columbia a IRE Ploiești

A. PROBE 11.10.1983

Mărimi măsurate	PROBA 1 PP-R în PT 19 OMNIA LEA 442 toate protecțiile în funcțiune	PROBA 2 Idem 1 Anulat protecția LEA 442	PROBA 3 Idem 1,2 Anulat protecția LEA 442 și a CT	PROBA 4 PP în stație pe LEA 442 toate protecțiile în funcțiune
$I^R_{LEA\ 442}$	450 A	424 A	436 A	514 A
I^R_{TSP}	150 A	150 A	142 A	178 A
I_{RN}	473 A	441 A	457 A	535 A
U_{R-O}	3 kV	2,83 kV	2,85 kV	0
U_{S-O}	19,6 kV	19 kV	18,8 kV	20,6 kV
$U_{10}(U_{20})$	—	2,38 kV	1,90 kV	1,99 kV
Durata, t	0,29 s	0,72 s	0,27 s	0,25 s
U^{max}_{PAS}	—	—	480 V	460 V
Declanșare	protecție homopolară LEA	protecție cuplă	protecție TSP	protecție LEA 442

B. PROBE 11.12.1987

Mărimi măsurate	PROBA 1 PP-R LEA Tg. Nou toate protecțiile în funcțiune	PROBA 2 Idem 1 Anulat homopolara pe LEA Tg. Nou	PROBA 3 PP-R LES 504 Omnia toate protecțiile în funcțiune	PROBA 4 PP-R LES 504 Anulat homopolara LES 504 și CT
I^R_{LEA}	360 A	372 A	336 A	336 A
I^T_{TSP}	343 A	368 A	314 A	328 A
I^{NUL}_{TSP}	370 A	370 A	330 A	330 A
U^{max}_{PAS}	416 V	—	—	—
U_{R-0}	11,5 kV	0	1,840 kV	1,87 kV
U_{S-0}	16,2 kV	18,0	17,3 kV	17,36 kV
Durata, t	0,18	0,64	0,22	1,16
Declanșare	protecție homopolară LEA Tg. Nou	protecție homopolară cuplă	protecție homopolară LES 504	protecție homopolară T_1 110/20 kV

Tabelul 2

Funcționarea protecțiilor în stația 110/20 kV Columbia

Nr. crt.	Denumirea echipamentului	Tipul protecției	Număr de funcționări					RAR
			1983	1984	1985	1986	1987	
1	3 LEA 20 kV	PHC	95	82	39	27	59	RAR_R
2	16 LES 20 kV	PHC	26	7	12	3	6	$1RAR_N$
3	2 cuple transversale	PHC	4	—	—	—	—	—
4	2 TSI 1A—1B	PDLHC	3	—	—	—	—	—
5	2 trafo principal	PHC	3	—	—	—	—	—
6	1 bare 20 kV	PMB	—	—	—	—	—	—
7	1 măsură 1 + 2,20 kV	PHU	—	—	—	—	—	—
8	28 Echipamente principale	diferite	131	89	51	30	65	RAR_R + $1RAR_N$

Observație. Numărul mare de declanșări pe LEA 20 kV se datorește trecerilor prin zona silozurilor unde se găsesc multe păsări. RAR_N pe cablurile de 20 kV au avut loc în timpul alimentării acestora din LEA.
În perioada 1983—1987 toate protecțiile au funcționat corect.

Rezultatele obținute la probele de la punerea în funcțiune a sectorului experimental și cele de la sfîrșitul perioadei de experimentare se prezintă în tabelul 1. Unele din mărimile înregistrate la probele efectuate se prezintă în oscilogramele din figura 5 *b*, *c*.

Probele efectuate au confirmat posibilitatea tehnică a utilizării rezistorului de limitare R_N realizat sub forma prizei de pămînt pentru tratarea neutrului rețelelor de MT. Condițiile de protecție a muncii și stabilitate termică au fost respectate la PIF și menținute în tot timpul duratei de funcționare. Funcționarea protecției prin relee a fost corespunzătoare pe toată durata experimentării, așa cum atestă de altfel și datele statistice prezentate în tabelul 2.

Pentru limitarea variației sezoniere a rezistenței de dispersie a rezistorului R_N este recomandat ca adîncimea de plantare să fie de peste 3 m, deși chiar în condițiile realizate în stația Columbia (unde adîncimea a fost de aproximativ 1,5 m) modificările sezoniere nu au influențat în mod negativ funcționarea protecțiilor. Reducerea oscilațiilor valorilor R_N este însă importantă pentru liniștirea fenomenelor tranzitorii din rețeaua tratată.

Soluția optimă constructivă pentru rezistor este cea cu placa plantată în poziție verticală în betonită. Folosirea electrodului vertical izolat în tub PVC poate fi luată în considerare exclusiv în rețelele aeriene, din cauza dificultăților de asigurare a stabilității termice la defecte de curent mare.

Concluzii

Rezistorul de limitare sub forma unei prize de pămînt plantată în strat de bentonită la adîncimea de peste 3 m este o soluție tehnică competitivă, care poate fi folosită cu succes la tratarea neutrului în rețele de medie tensiune aeriene sau în cablu cu curent de defect limitat la 300 sau 600 A. Soluția a fost aplicată cu derogare față de cerințele din [5] (rezistorul tip priză neputînd fi inclus în zona protecției diferențiale homopolare a transformatorului 110/MT al stației).

Autorii socotesc oportună continuarea experimentării acestui rezistor într-o variantă ameliorată care să-i asigure reducerea oscilațiilor sezoniere pentru eliminarea dubiilor care mai persistă în legătură cu extinderea acestei soluții, care prezintă următoarele avantaje :

— simplitate constructivă ;

— preț de cost scăzut (de circa treizeci de ori mai ieftin decît rezistența metalică) ;

— ușurința aplicării în orice stație.

Aplicarea noii soluții impune și inițierea unor măsuri de modificare a normativului existent.

Experiența de exploatare în timpul experimentării soluției a scos în evidență că limitarea curentului de scurtcircuit monofazat la 300 A pentru rețelele de MT aeriene sau cu structură mixtă asigură selectivitatea protecției homopolare de pe linii ; limitarea curentului de scurtcircuit monofazat la 600 A$\pm$5% pentru rețelele de medie tensiune cu structură în cablu asigură atît selectivitatea protecției homopolare, cît și stabilitatea termică a rezistorului și a mantalei sau ecranului cablurilor folosite în prezent în rețelele din țară.

Măsurările efective executate de ICEMENERG București asupra unor prize din SEN cu grosimea de peste 4 mm, chiar neprotejate în bentonită, confirmă faptul că acestea au în general o durată de viață de cel puțin 40 ani în soluri fără agresivitate pronunțată. Bentonita contribuie la mărirea duratei de viață reală.

Eventualele defecțiuni care ar putea apărea la acest tip de prize datorită unor defecte catastrofale (pierderea curentului continuu din stație, defecte de durată foarte mari, întreruperea legăturilor subterane între rezistor și TSP) vor fi sesizate prin nefuncționarea corectă a protecțiilor pe linii și pot fi depistate printr-o simplă măsurare a rezistenței de dispersie a prizei prin metoda voltampermetrică.

Bibliografie

[1] Goia, L. M. *Rezistență pentru tratarea rețelelor de medie tensiune.* Brevet R.S.R. 74081/1978.

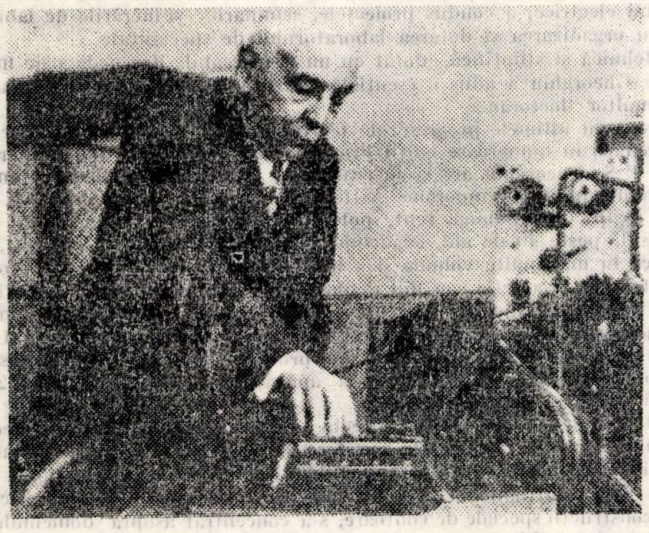
[2] Goia, L. M., Șerban, A. *Tratarea neutrului rețelelor de 20 kV 110 kV prin rezistor economic.* Sesiunea CIRE — Craiova 1982.

[3] Tănăsescu, Al., Iștanu, T. *Considerații privind supratensiunile și circulația curenților în cazul scurtcircuitelor monofazate din rețelele de MT.* Sesiunea CIRE Ploiești 1987.

[4] Șerban, A. *Realizări și tendințe privind tratarea neutrului la MT. Soluții noi aplicate la IRE Ploiești.* Sesiunea CIRE Timișoara 1984.

[5] SCP—CIRE. IE—I_p—35/1—83. *Îndreptar de proiectare pentru rețelele de MT cu neutrul tratat prin rezistență*, vol. I, 1983.

(Primit la 3 mai 1988, acceptat la 11 noiembrie 1988)



ION S. GHEORGHIU

S-au împlinit 20 de ani de la încetarea din viață a academicianului Ion S. Gheorghiu, eminent savant român, dascăl desăvîrșit al zeci de promoții de studenți ai școlii politehnice bucureștene, întemeietor al școlii românești de mașini electrice.

Născut la Bacău la 24 august 1885, ca fiu al inginerului Ștefan Gheorghiu (colaborator al lui Anghel Saligny la proiectarea și construcția podului peste Dunăre), Ion S. Gheorghiu urmează liceul în București, iar în anul 1909 absolvă Școala Națională de Poduri și Șosele din București, ca șef de promoție. Obține prin concurs bursa Adamachi a Academiei Române și își continuă studiile la Paris, la Școala Superioară de Electricitate, pe care o absolvă printre primii, obținînd diploma de inginer electrician. Își completează studiile prin practica de un an pe care o face la Fabrica de Mașini Electrice din Berlin a Societății A.E.G.

Întors în țară la finele anului 1911, își desfășoară activitatea ca inginer electrician la centrala și instalațiile electrice ale portului Constanța aflate în plină construcție, apoi la Societatea de Tramvaie București.

În anul 1913 se începe construcția căii ferate Sinaia — Pietrosița și se decide electrificarea ei, în care scop s-a înființat în cadrul Direcției CFR o secție de electrificare feroviară, cea dintîi unitate de acest fel din țară. Șef al acestei unități a fost numit Ion S. Gheorghiu. În această calitate a condus elaborarea primului proiect de electrificare feroviară, care prevedea ca sursă de energie electrică o centrală hidroelectrică pe rîul Ialomița, la Dobrești.

Dovadă că soluția era judicioasă a fost construirea, mai tîrziu, în 1928—1930, pentru alte scopuri, a acelei centrale, cu caracteristicile generale asemănătoare celei proiectate în 1913.

Renunțîndu-se, după primul război mondial, la construirea căii ferate Sinaia—Pietrosița, I. S. Gheorghiu a trecut în 1924 la Societatea Generală de Gaz și Electricitate din București, în care a activat pînă în 1944. În cadrul acestei întreprinderi s-au executat cele mai importante lucrări de electrificare din perioada interbelică: amplificarea și modernizarea CDE Filaret și CTE Grozăvești, instalarea unei suprafețe la tensiunea de 30 kV cu stațiile de transformare aferente, extinderea rețelei de distribuție atît pînă la limita orașului, cît și în zonele învecinate, constituirea unui sistem electroenergetic prin interconectarea celor două centrale menționate cu sursele exterioare CHE Dobrești și CTE Schitu-Golești.

I. S. Gheorghiu a luat parte la aceste lucrări ca subdirector, director (după ieșirea la pensie a directorului prof. I. Ștefănescu-Radu) și director general.

În perioada interbelică I. S. Gheorghiu a fost permanent și consilier al Direcției CFR în problemele de electrificare feroviară. Împreună cu prof. C. Budeanu a adus o contribuție deosebită la studiile și proiectele de electrificare feroviară efectuate în perioada interbelică, îndeosebi pentru electrificarea căii ferate Cîmpina—Brașov.

Concomitent, studiul electrificării feroviare în cadrul Institutului Român de Energie—IRE, i-a permis lui I. S. Gheorghiu nu numai să dezbată soluțiile tehnice, ci și să militeze pentru executarea acestui obiectiv de mare interes pentru economia națională.

Ca membru al Consiliului Superior al Energiei și al Consiliului Tehnic punctele sale de vedere au fost contribuții substanțiale la adoptarea soluțiilor lucrărilor propuse spre examinare. A fost solicitat, de asemenea, în rezolvarea multor probleme de inginerie referitoare la electrotehnică și electromagnetică.

Privind în ansamblu activitatea sa inginerească, I. S. Gheorghiu a fost un factor reprezentativ, la care s-a apelat frecvent pentru competența, justețea vederilor și capacitatea de a da soluții optime.

În domeniul științific I. S. Gheorghiu a desfășurat o activitate variată și valoroasă. Pe baza acesteia a fost ales în septembrie 1948 membru corespondent al Academiei R.S.R., iar în 1952 membru titular.

Între anii 1951 și 1956 a condus ca director Institutul de Energetică al Academiei R.S.R. Din 1952 pînă în 1963 a fost președinte al Secției Tehnice și membru al Prezidiului, iar din 1957 pînă în 1963 a activat ca vice-președinte al celei mai înalte instituții de știință și cultură, Academia R.S.R.

A fost decorat cu cele mai înalte ordine ale Republicii, de două ori cu Ordinul Muncii cl. I și cu Steaua Republicii cl. I. În 1962 a obținut titlul de Om de Știință Emerit.

Nu mai puțin meritorie a fost activitatea didactică desfășurată de academicianul I. S. Gheorghiu. La 1 octombrie 1920 a fost numit conferențiar la Facultatea de Științe a Universității, în care calitate a activat pînă în 1929. La 1 ianuarie 1921 a fost numit conferențiar la catedra de mașini electrice la Școala Politehnică din București, urmașă a fostei Școli Naționale de Poduri și Șosele, iar la 1 iulie 1926 a fost numit prin concurs profesor definitiv, funcție pe care a păstrat-o pînă în 1962, cînd a ieșit la pensie, rămînînd profesor consultant la Institutul Politehnic București. Timp, de peste 40 de ani a predat cursul de mașini electrice, a condus proiectele, seminariile și lucrările de laborator, depunînd o continuă și susținută activitate pentru organizarea și dotarea laboratorului de specialitate.

Aducînd în școală vasta sa experiență tehnică și științifică, dotat cu un remarcabil dar pedagogic îmbinat cu eleganța și claritatea expunerii, profesorul I. S. Gheorghiu a adus o esențială contribuție la formarea a numeroase generații de ingineri electricieni și la pregătirea multor doctoranzi.

Cursul de înaltă ținută științifică, la curent cu ultimele progrese ale teoriei, construcției și încercărilor mașinilor electrice, a apărut chiar din primul an al predării în numeroase ediții litografiate. Fiind primul curs superior de mașini electrice predat în țara noastră, profesorul I. S. Gheorghiu are și meritul de a fi introdus în limba română o serie de termeni care fac astăzi parte din patrimoniul limbii contemporane. Astfel sînt termenii: indus, inductor, întrefier, înfășurare, crestătură, flux de scăpări, cap de bobină, scut, poli înecați și poli aparenți etc.

Ca o sinteză a acestei activități didactice de peste 40 de ani, academicianul I. S. Gheorghiu a început, după 1953, tipărirea unui mare tratat de mașini electrice în mai multe volume și a unei voluminoase culegeri de probleme industriale de mașini electrice pentru uzul inginerilor din producție sau din exploatare. Prin înaltul său nivel științific prin actualitatea temelor tratate, prin numeroase contribuții inedite, tratatul academicianului I. S. Gheorghiu îmbracă caracterul unei lucrări științifice de o deosebită valoare, pentru care a și obținut Premiul de Stat pe anul 1962. Ultimii ani din viață au fost dedicați reeditării acestui tratat, împreună cu discipolul său, prof. dr. ing. Alexandru Fransua, în condițiile îmbogățirii materialului cu noi contribuții originale. Noua ediție a apărut între anii 1968 — 1972 și a înregistrat un succes de răsunet al școlii de mașini electrice din țara noastră.

Alături de activitatea sa tehnică și didactică și deseori în legătură directă cu ea, academicianul I. S. Gheorghiu a desfășurat, începînd din 1911, timp de peste o jumătate de secol, o vastă și valoroasă activitate științifică. În lucrările sale sînt abordate diferite domenii ale electrotehnicii și energeticii. Între anii 1911—1935 a publicat numeroase studii în țară și străinătate asupra electrificării căilor ferate, introducînd și precizînd unele concepții puțin cunoscute la acea epocă. A fost preocupat, de asemenea, de unele construcții speciale de contoare, s-a concentrat asupra domeniului mașinilor și transformatoarelor electrice. Citățm următoarele studii în care a adus contribuții originale recunoscute: repartiția puterilor active și reactive la mersul în paralel al centralelor electrice în rețelele arborescente sau buclate; teoria generală a mersului în paralel al transformatoarelor; determinarea forțelor axiale la scurtcircuit în transformatoare de mare putere; problema curentului de circulație în regim sinusoidal și nesinusoidal la funcționarea în paralel a transformatoarelor; teoria unitară a mașinilor electrice la curent alternativ, cu sau fără colector; scheme echivalente pentru studiul motoarelor de curent alternativ cu colector; o nouă metodă de a produce curent trifazat de joasă tensiune pentru excitarea mașinii sincrone în regim asincron etc.

Se cuvine să spunem ceva și despre calitățile sufletești ale academicianului I. S. Gheorghiu, calități impresionante și de neuitat pentru toți cei care l-au cunoscut și au lucrat cu dînsul: calmul, liniștea sufletească a adevăratului intelectual, modestia rar întîlnită, dorința de a cunoaște și înțelege omul și de a-și apropia colaboratorii, insuflîndu-le dragoste pentru știință.

Academicianul profesor inginer Ion S. Gheorghiu merită cu prisosință unul din cele mai înalte locuri în ierarhia cărturarilor români făuritori de școală și creatori ai bazelor civilizației tehnice și științifice contemporane românești.

Prof. dr. ing. Alexandru Fransua

Redacția revistei ENERGETICA cere scuze cititorilor și colaboratorilor săi pentru întîrzierea survenită în apariția publicației.

СОДЕРЖАНИЕ

РАЗВИТИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

АРИЕ А. АРИЕ, ЕУДЖЕН ПАВЕЛ: Передача электрической энергии в постоянном токе высокого напряжения. Актуальная ситуация 1—8

МИХАЕЛА ЙОРДАКЕ: Возможность оценки экономических ущербов, вызванных отклонениями от качества электрической энергии 8—12

МАНФРЕД ШТЕЙН, ГЕОРГЕ МОРАИТЕ, КРИСТИАНА БЭРБУЛЕСКУ: Некоторые аспекты, касающиеся условия подсоединения к системе некоторых генераторов большой мощности 13—16

ЭНЕРГЕТИКА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

ИОАН ФЕЛЯ, ЗОЛТАН ЗАЛАНЬИ: Математическая модель и вычислительная программа оценки составляющих, учитывающих ущерб от перерывов в электроснабжении потребителей машиностроительной отрасли 17—22

АНДЖЕЛА ПЕРЯ, МИКЛОШ ЗОЛДИ, АНТОН РОШУ, МОНА АНДРИЧ, РАДУ ГЛИГА: Достижения в рекуперации тепла низкотемпературных дымовых газов 22—26

ТЕПЛОЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

ВАСИЛЕ ПОПОВИЧ: Использование золошлака ТЭС 27—31

ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

БОРИС БОРИСЕВИЧ: Методы определения размеров выравнивающих водохранилищ каскадных гидроэлектростанций 32—36

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СЕТИ

ЛАУРЕНЦИУ ГОЙЯ, АУРЕЛИАН ШЕРБАН: Заземление нейтрали сетей среднего напряжения через экономичный резистор 37—44

НОВОСТИ

ИЗ МИРОВОЙ ЭНЕРГЕТИКИ 31

ПЕРСОНАЛИ 45—46

INHALT

DIE ENTWICKLUNG DER ENERGIESYSTEME

ARIE A. ARIE, EUGENIU PAVEL: Elektrische Kraftübertragung in Hochspannungs-Gleichstrom. Die gegenwärtige Lage 1—8

MIHAELA IORDACHE: Möglichkeiten einer wirtschaftlichen Einschätzung der durch die Abweichungen von der Qualität der Elektroenergie hervorgerufenen Schäden 8—12

MANFRED STEIN, GEORGE MORAITE, CHRISTIANA BĂRBULESCU: Einige Aspekte über den Verbundnetzanschluss von Hochleistungsgeneratoren 13—16

DIE ENERGIEWIRTSCHAFT IN INDUSTRIEBETRIEBEN

IOAN FELEA, ZOLTAN ZALÀNYI: Mathematisches Modell und Rechenprogramm zur Abschätzung der Schadenskomponenten nach Unterbrechungen in der Stromzufuhr bei Abnehmern aus der Maschinenbauindustrie 17—22

ANGELA PEREA, MIKLOS ZOLDY, ANTON ROȘU MONA ANDRICI, RADU GLIGA: Die Niedertemperatur-Rückgewinnung der Rauchgaswärme 22—26

WÄRMEKRAFTWERKE

VASILE POPOVICI: Zur Anwendung der Asche und Schlacke aus den Wärmekraftwerken 27—31

WASSERKRAFTWERKE

BORIS BORISEVICI: Methode zur Bemessung der Ausgleichungsbecken der Wasserkraftwerkskaskaden 32—36

ELEKTRISCHE NETZE

LAURENȚIU GOIA, AURELIAN ȘERBAN: Die Nullpunkterdung der Mittelspannungsnetzen durch ökonomischem Widerstand 37—44

NEUIGKEITEN

DIE ENERGIEWIRTSCHAFT WELTWEIT 31

DE PERSONIS 45—46

SOMMAIRE

DEVELOPPEMENT DES RÉSEAUX D'ÉNERGIE

ARIE A. ARIE, EUGENIU PAVEL: Le transport de l'énergie électrique en courant continu à haute tension. La situation actuelle 1—8

MIHAELA IORDACHE: Une possibilité d'estimation des dommages économiques à cause de la déviation de la qualité de l'énergie électrique 8—12

MANFRED STEIN, GEORGE MORAITE, CHRISTIANA BĂRBULESCU: Certains aspects concernant les conditions de raccord au réseau d'interconnection des générateurs à grande puissance 13—16

L'ÉNERGIE DANS L'ENTREPRISE

IOAN FELEA, ZOLTAN ZALÁNYI: Modèle mathématique et logiciel d'évaluation des composantes du dommage produit à la suite de la coupure de l'énergie électrique des usagers de l'industrie de construction de machines 17—22

ANGELA PEREA, MIKLOS ZOLDY, ANTON ROȘU, MONA ANDRICI, RADU GLIGA: Réalisations dans le domaine de la récupération de la chaleur des gaz de combustion à bas températures 22—26

CENTRALES THERMIQUES

VASILE POPOVICI: Préoccupations concernant l'utilisation des cendres et de la scorie résultées d'une centrale thermique 27—31

CENTRALES HYDRAULIQUES

BORIS BORISEVICI: Méthode pour le dimensionnement des bassins de compensation des centrales hydrauliques en cascade 32—36

RÉSEAUX ET POSTES ELECTRIQUES

LAURENȚIU GOIA, AURELIAN ȘERBAN: Le traitement du neutre des réseaux à moyenne tension par résisteur économique 37—44

NOUVEAUTES

L'ÉNERGIE DANS LE MONDE 31

PERSONNALITÉS 45—46

CONTENTS

ENERGY SYSTEMS DEVELOPMENT

ARIE A. ARIE, EUGENIU PAVEL: High Voltage Direct Current Electric Energy Transport. The Present Situation 1—8

MIHAELA IORDACHE: An Estimation Possibility of the Economic Damages Caused by the Electric Energy Quality 8—12

MANFRED STEIN, GEORGE MORAITE, CRISTIANA BĂRBULESCU: Some Aspects Regarding the Grid Comection Conditions of High Power Generators 13—16

ENERGY IN THE ENTERPRISES

IOAN FELEA, ZOLTAN ZALÁNYI: Mathematical Program and Computer Program for the Estimation of Damage Components Caused by Electricity Supply Cut-outs of the Machine Manufacturing Industry Consumers 17—22

ANGELA PEREA, MIKLOS ZOLDY, ANTON ROȘU, MONA ANDRICI, RADU GLIGA: Achievements in Low Temperature Flue Gases Heat Recovery 22—26

THERMAL POWER PLANTS

VASILE POPOVICI: Concerns Regarding the Use of Ash And Slag Disposed of Thermal Power Plants 27—31

HYDROELECTRIC POWER PLANTS

BORIS BORISEVICI: Dimensioning Method for Compensation Reservoirs of Cascade Hydropower Plants 32—36

ELECTRIC NETWORKS

LAURENȚIU GOIA, AURELIAN ȘERBAN: Economical Resistor Neuter Treatment at Medium Voltage Networks 37—44

NEWS

ENERGY WORLDWIDE 31

DE PERSONIS 45—46

ORSZÁGOS SZABADALMI HIVATAL

COLEGIUL DE REDACȚIE

Președinte, redactor responsabil: **dr. ing. Eugeniu Pavel**

Redactori responsabili adjuncți: **dr. ing. Mihai G. M. Pop, dr. ing. Gheorghe Bălan, ing. Radu Opincaru**

Secretar de redacție: **dr. ing. Teodor Popa**

Resort economic: **ec. Pompiliu Silvășanu**

Orientări în energetică: **dr. ing. Mario Duma**

Energetica în unități economice: **ing. Ion Măiereanu, ing. Alexandru Floreseu**

Dezvoltarea sistemelor energetice: **dr. ing. Nicolae Armencoiu, dr. ing. George Manolescu**

Conducerea și automatica SE: **dr. ing. Victor Romert, dr. ing. Jean Constantinescu**

Centrale termoelectrice: **conf. dr. ing. Costin Moțoiu, ing. Romeo Zbarcea**

Centrale hidroelectrice: **dr. ing. Gheorghe Lucu**

Centrale nuclearoelectrice: **ing. Adrian Georgescu, prof. dr. ing. Nicolae Dănilă, ing. Mircea Tarța**

Rețele electrice: **ing. Dinu Voinea, ing. Nicolae Georgian**
Alimentare cu căldură: **ing. Nicolae Nicolescu**

Surse și tehnologii noi: **ing. Constantin Popescu**

Tehnologii chimice în energetică. Poluare: **dr. chim. Maria Maftei**

Organizarea producției și a muncii: **ing. Miron Popescu**

Istoria electrificării: **ing. Paul Cartianu**

Noutăți: **ing. Mihai Nistor, ing. Romulus Sfichi**

Terminologia energetică: **dr. ing. Iosif Cserveny**

Centre universitare și industriale:

București: **conf. dr. ing. Alexandru Selischi**

Iași: **prof. dr. ing. Alexandru Poeată**

Timișoara: **prof. dr. ing. Viorel Negru**

Cluj: **conf. dr. Silviu Darie**

Acest număr a fost realizat cu concursul următorilor secretari ai grupelor de specialitate:

— **ing. Anton Vlădescu** — Dezvoltarea sistemului energetic
— **ing. Angela Perea** — Energetica în unități economice
— **ing. Anton Roșu** — Centrale termoelectrice
— **dr. ing. Traian-G. Ioneseu** — Rețele electrice

Revista „ENERGETICA" este editată și administrată de Institutul de Cercetări și Modernizări Energetice prin Oficiul de Informare Documentară pentru Energetică.
Vasile Pleșca— șef OIDE, **Ana Maria Chivu** — redactor
Revista ENERGETICA — publicație lunară, reflectă preocupările spirituale și realizările materiale în domeniul energeticii. Funcționează în conformitate cu ROF aprobat cu Ordinul nr. 97/1987 și publicat în nr. 4/87.

Instituțiile pot achita abonamentele în contul de virament nr. 30.11.8.01.01 — BN R.S.R. Fil. Sector 3. Costul unui abonament: 144 lei anual; costul unei exemplar: 12 lei
Redacția și administrația: București 79619, Bd. Energeticienilor nr. 8, sect. 3
Telefon: 20.67.30, 21.46.30

Elaboratorii de lucrări propuse spre publicare sînt rugați să consulte *„Îndrumările pentru întocmirea și prezentarea lucrărilor propuse a fi publicate în revista Energetica"* și *„Ghidul pentru avizarea lucrărilor propuse a fi publicate în revista Energetica"* apărute în nr. 12/1986, precum și *„Planul tematic al revistei Energetica"* apărut în nr. 5/1987.

41 401

ANNOUNCEMENTS FOR READERS ABROAD

— **The review „Energetica" can send on request from publications abroad reports translated in one of the worldwide spoken languages**
— **The review „Energetica" proposes a publication exchange with similar reviews and in relating fields**
— **The review „Energetica" provides and publishes or introduces books on energy received at the editorial office. Reviews and presentations of books sent on this purpose to the editorial office can be published as well**
— **The review „Energetica" publishes on request from authors abroad reports of other materials: technical and scientific nrws, inventions-innovations, information about technical and scientific symposia, etc. written in one of the worldwide spoken languages**
— **Readers from abroad can suberibe through: ROMPRESFILATELIA — sectorul import-export, P.O. Box 12—201, telex 10376 prsfir, Calea Griviței nr. 64 66, București — România.**

Tiparul: Întreprinderea Poligrafică „Informația", București
str. Brezoianu 23—25 c—2795

I.S.P.H.

INSTITUTUL DE STUDII ŞI PROIECTĂRI HIDROENERGETICE

29, Republicii Blvd., 79669 Bucharest,
Romania,
Phone 147270, Telex 11-443 i. s. p. h. r.

ISPH-Designing Institute with complex profile offers :

SPECIAL ACTIVITIES

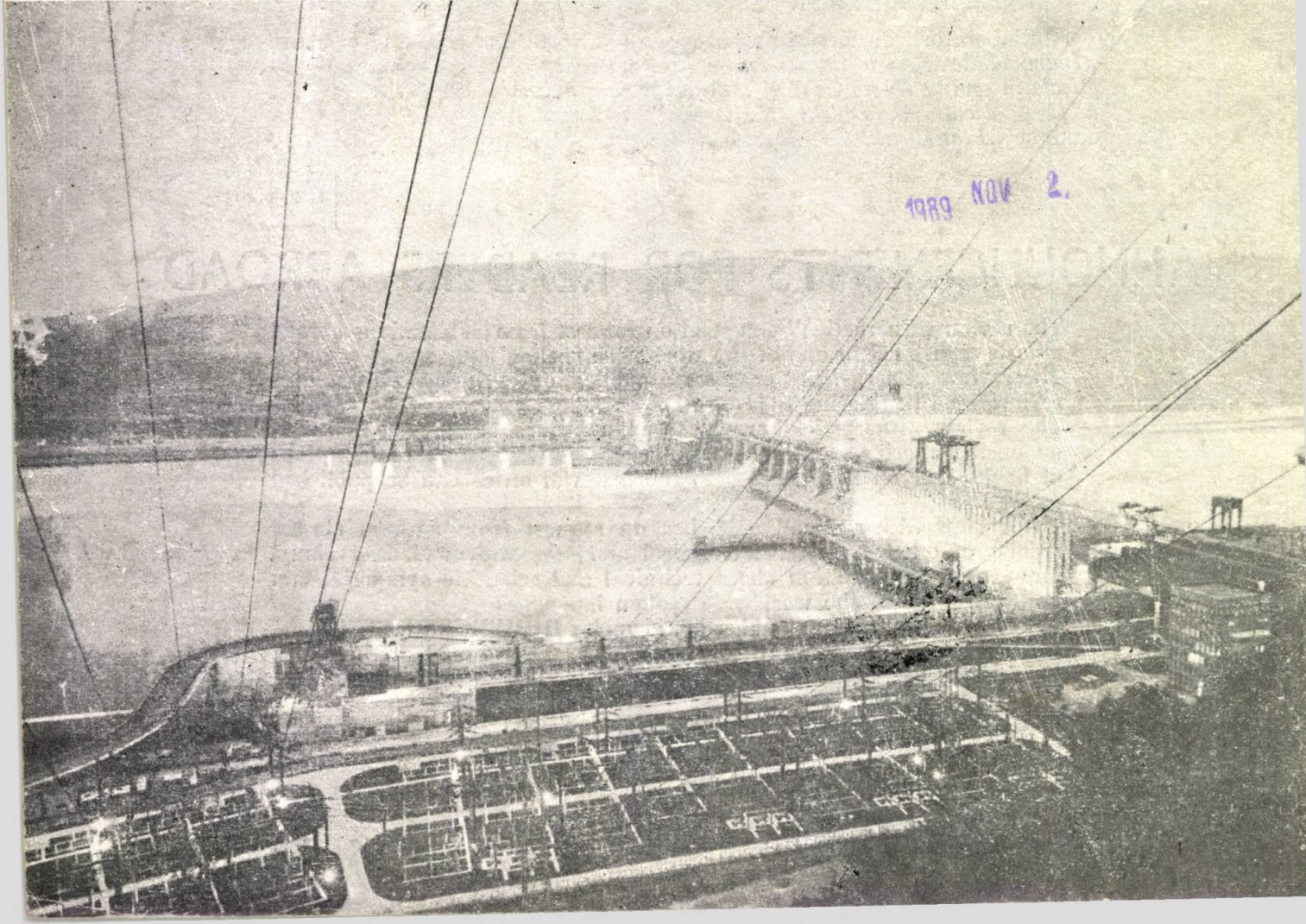
- hydrological and hydrogeological studies
- engineering-geological investigations
- geotechnical and geophysical explorations, soil and rock mechanic investigations
- topographical surveys and mapping

SPECIAL SERVICES

- preliminary studies and designs
- feasibility studies
- final designs
- detailed construction drawings
- tender documents and contracts
- inspection and supervision
- expert's reports

RIVER BASIN DEVELOPMENT STUDIES

- hydroelectric developments
- multipurpose hydraulic developments
- special hydraulic structures



1989 NOV 2.

E2039

MW

REFERALVA

2

EPE

Cuprins

ENERGETICA IN UNITĂȚI ECONOMICE

MIRCEA DIACONESCU, GHEORGHE SAVITESCU, CORNELIU HUȚANU, GHEORGHE IJAC, GHEORGHE CEPOIU, HORAȚIU ZĂRNESCU, CĂLIN MIHĂILEANU, DORIN POTLOG: **Instalații automate de control și menținere în funcțiune a acționărilor electrice industriale cu motoare sincrone la perturbații de scurtă durată** 49—55

TITUS DORU HAȚIEGAN: **Un model matematic pentru optimizarea consumurilor specifice de energie** 56—60

DEZVOLTAREA SISTEMULUI ENERGETIC

PAVEL BUHUȘ, GHEORGHE COMĂNESCU: **Cu privire la estimarea tranzitului total de sarcină** W_s 61—63

CENTRALE HIDROELECTRICE

NICOLAE ȘOREA, PETRU DÂRVĂȘĂ, MARIA ȘOREA, IONEL POPA, LEOPOLD HRISTOVICI: **Potențialul hidroenergetic din județul Botoșani și posibilitățile de valorificare** 64—65

REȚELE ELECTRICE

DORIN CRISTESCU, SORIN COATU: **Posibilități de creștere a economicității transportului de energie electrică prin compactizarea liniilor** 66—76

SURSE ȘI TEHNOLOGII NOI

IOAN CARABOGDAN, VICTOR ATHANASOVICI, VASILE ANGHELUȚĂ, CAMELIA BORȘAN: **Aspecte tehnico-economice ale recuperării căldurii gazelor de ardere** 77—82

ION BERINDAN, REKA KOVACS-DOBOLYI, TIBERIU MOLNAR, IULIU ROSTAS: **Resturile lemnoase și fitomasa energetică — surse de hidrocarburi** 83—86

TERMINOLOGIA ENERGETICĂ

MIRCEA-DIMITRIE CĂZĂCU: **Asupra terminologiei privind regulatoarele de viteză pentru turbine hidraulice** 87—92

NOUTĂȚI 76, 86

DIN ENERGETICA MONDIALĂ 93

DE PERSONIS

R 1989 -10- -4

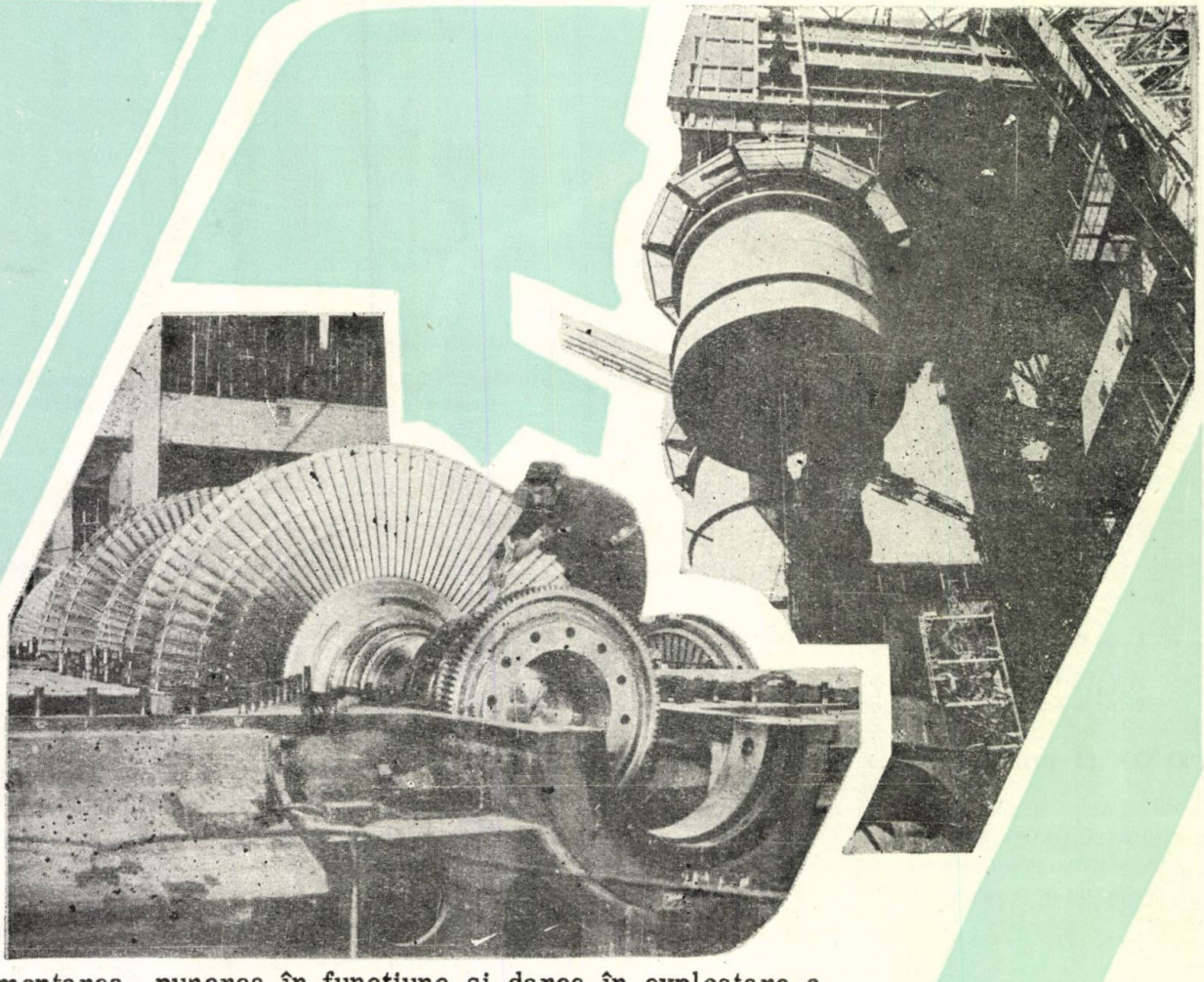
energetica

VOLUMUL XXXVII

BUCUREȘTI

FEBRUARIE 1989

T.A.G. ENERGOMONTAJ



Execută montarea, punerea în funcţiune şi darea în exploatare a echipamentelor şi instalaţiilor energetice pentru centrale termoelectrice şi hidroelectrice

Echipamente şi instalaţii pentru centrale termoelectrice şi centrale electrice de termoficare
- cazane de abur de mare capacitate şi parametri înalţi de funcţionare
- turbine cu abur de puteri unitare pînă la 345 MW
- instalaţii de combustibil pentru cărbuni, păcură, gaze
- alte instalaţii termomecanice şi mecanice aferente centralelor termoelectrice.

Echipamente şi instalaţii pentru centrale hidroelectrice şi instalaţii hidrotehnice :
- turbine hidraulice de orice tip, pînă la puteri unitare de 176 MW, conducte forţate
- echipamente şi alte instalaţii pentru centrale hidro şi termoelectrice
- echipamente şi instalaţii pentru ecluze.

Echipamente şi instalaţii electrice pentru centrale termoelectrice şi hidroelectrice, staţii electrice şi instalaţii speciale :
- instalaţii de comutaţie primară pînă la tensiunea de 400 kV inclusiv
- instalaţii de servicii interne în centrale şi staţii electrice
- instalaţii de comutaţie secundară şi de automatizare.

Bucureşti, Calea Dorobanţi nr. 105, telefon 79.70.20, telex 11353

ENERGETICA

ORGAN AL MINISTERULUI ENERGIEI ELECTRICE ŞI AL CONSILIULUI NAŢIONAL AL INGINERILOR ŞI TEHNICIENILOR DIN REPUBLICA SOCIALISTĂ ROMÂNIA

SUB ÎNDRUMAREA CONSILIULUI ŞTIINŢIFIC AL INSTITUTULUI CENTRAL DE CERCETĂRI ENERGETICE

Anul 37 Nr. 2 Februarie 1989

MUSZAKI INFORMÁCIÓS IRODA 1883

Energetica în unităţi economice

Instalaţii automate de control şi menţinere în funcţiune a acţionărilor electrice industriale cu motoare sincrone la perturbaţii de scurtă durată

Ş. l. dr. ing. MIRCEA DIACONESCU, ş. l. ing. GHEORGHE SAVITESCU, conf. dr. ing. CORNELIU HUŢANU, ing. GHEORGHE IJAC, ing. GHEORGHE CEPOIU, conf. dr. ing. HORAŢIU ZĂRNESCU, dr. ing. CĂLIN MIHĂILEANU, dr. ing. DORIN POTLOG *

Descriptori : acţionări electrice, automatizări, regimuri tranzitorii

CZ : 621.313.323.621.83

Cu toate avantajele pe care le prezintă utilizarea motoarelor sincrone (turaţie riguros constantă, posibilitatea reglării circulaţiei de putere reactivă, puteri unitare mari) folosirea acestora în unele procese industriale este dezavantajată de sensibilitatea ridicată la perturbaţii ale tensiunii de alimentare.

În articol se descrie o instalaţie automată destinată menţinerii în funcţiune a acţionărilor la acest gen de perturbaţii, împreună cu considerentele teoretice pe care s-a bazat realizarea acestei instalaţii.

De asemenea sînt prezentate exemple de rezultate experimentale obţinute la funcţionarea instalaţiei.

Disregarding the advantages of the synchronous motors use (precise constant rotation speed, the possibility to control reactive power circulation, high unitary powers) their application in some industrial processes is handicapped by their high sensitivity at supply voltage disturbances.

The paper describes an automatic facility meant to maintain in operation the drives during such type of disturbances together with the theoretical considerations applied for setting up this facility.

Examples of experimental results obtained in operation are also mentioned.

Automatic Facilities for the Survey and Maintaining in Operation of Industrial Electric Drives with Synchronous Motors During Short-term Disturbances

(Condensed from the paper in Romanian)

The paper contains theoretical considerations and technical solutions meant to improve the reliability of synchronous motors electric drives during short-term supply voltage disturbances as well as some new concepts of installations set up to this purpose.

Test results with the new installations are also presented.

The first part consists of theoretical considerations referring to the method's principle, i.e. :

— criteria for establishing the drives' stability limit ;

— criteria for establishing the excitation connection conditions for synchronization and re-synchronization ;

— determining manner of the quantities' values from the applied criteria.

In the second part, the manufactured facilities (called SINCROOPT) are described.

The facility is intended for implementation on synchronous motors drives units actuating machines which operate as fans from the mechanical point of view.

The functions carried out by the facility are the following :

— control of current motor start and stop manoeuvres ;

— maintaining in operation of the drives during short-term disturbances which do not need the machine's work load discharge ;

— regimes' optimization of several operations like : synchronization, re-synchronization, passing over to asynchronous operation etc. ;

— signalizing and memorizing the occurence order of the main disturbing or disturbed quantities ;

— motors' protections control ;

— the installation's operation self-blocking in case of internal faults.

The facility SINCROOPT is being manufactured at present as industrial series product.

Two representative operation tests are shown in the last part of the paper.

* Ş. l. dr. ing. Mircea Diaconescu, ş.l. ing. Gheorghe Savitescu, conf. dr. ing. Corneliu Huţanu — Institutul Politehnic, Iaşi, ing. Gheorghe Ijac, ing. Gheorghe Cepoiu — Combinatul Chimic AZOMUREŞ, Tg. Mureş, conf. dr. ing. Horaţiu Zărnescu — Institutul de Învăţămînt Superior, Tg. Mureş, dr. ing. Călin Mihăileanu, dr. ing. Dorin Potlog — Institutul de Cercetări şi Modernizări Energetice, Bucureşti.

1. Introducere

Datorită avantajelor pe care le prezintă (turație riguros constantă, posibilitatea reglării circulației de putere reactivă, puteri unitare mari etc.) acționările electrice cu motoare sincrone sînt larg răspîndite în industrie.

Utilizarea motarelor sincrone are însă și un dezavantaj și anume cel produs de sensibilitatea acestora la perturbații de scurtă durată (goluri de tensiune, microîntreruperi, suprasarcini, scăderi bruște de frecvență etc.). În funcție de caracteristicile perturbației, motorul sincron poate să-și piardă stabilitatea dinamică, ajungîndu-se la deconectarea prin protecții.

Anumite procese industriale (în special cele din industria chimică și cea petrochimică) prezintă exigențe deosebite în ceea ce privește asigurarea continuității în funcționare.

În aceste procese, întreruperile neprevăzute pot duce la pierderi de producție, de materii prime și materiale, la consumuri suplimentare de energie, la deteriorări de utilaje și chiar la pericole de incendii și explozii.

Metodele și dispozitivele de supraveghere și comandă a regimurilor de funcționare a motoarelor sincrone, care se folosesc în mod curent, sînt realizate, în general, astfel:
— pentru sesizarea ieșirii din sincronism, prin controlul curentului statoric, al frecvenței tensiunii rotorice sau al ambelor;
— pentru pornire, prin controlul acelorași mărimi și uneori prin urmărirea timpului de mers în asincron sau a valorii unghiului intern.

Aceste metode au dezavantajul principal că nu sesizează exact limita dintre regimurile la care motoarele mai au posibilitatea de funcționare în sincron datorită capacității lor naturale și se comandă trecerea în regim asincron în condițiile în care acționarea nu și-a pierdut stabilitatea dinamică. Altfel spus, metodele nu utilizează integral rezerva intrinsecă de stabilitate a motorului.

În prezentul articol se descrie o instalație (denumită convențional SINCROOPT) menită să înlăture dezavantajul menționat și destinată îndeplinirii următoarelor funcțiuni:
a — realizarea automată a manevrelor de pornire și oprire;
b — supravegherea funcționării și asigurarea protecțiilor;
c — menținerea în funcțiune la diverse perturbații de scurtă durată ca: goluri de tensiune; microîntreruperi (inclusiv cele de tipul reanclanșare automată rapidă — RAR și anclanșare automată a rezervei — AAR); suprasarcini; subtensiune de excitație; scăderi bruște ale frecvenței; desincronizări produse de deconectări în noduri îndepărtate de sistem etc.).

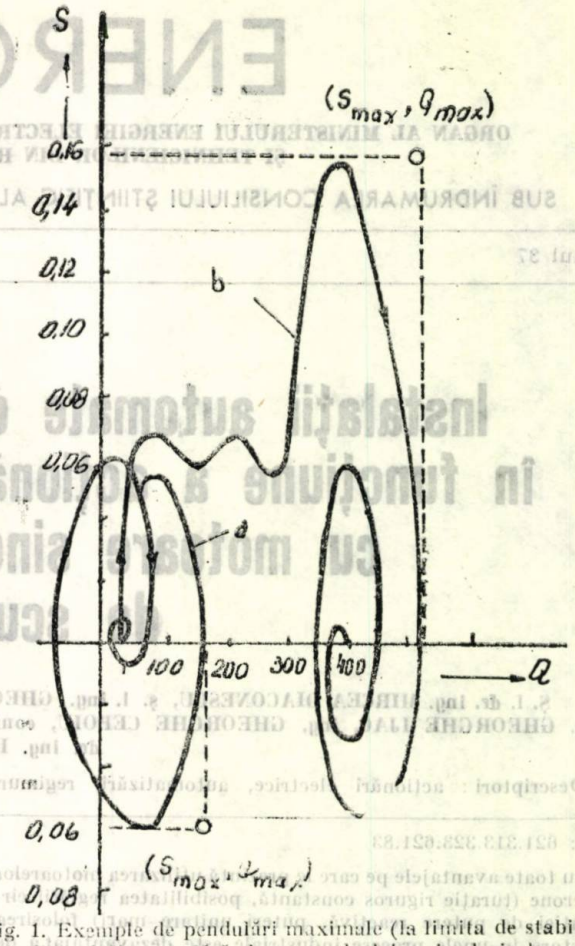


Fig. 1. Exemple de pendulări maximale (la limita de stabilitate dinamică): a — fără alunecare de doi pași polari; b — cu alunecări de doi pași polari.

2. Considerații teoretice

Principiul metodei constă în stabilirea unor criterii de apreciere a limitei de stabilitate la perturbații, de control al posibilităților de sincronizare sau resincronizare.

De asemenea, s-a urmărit stabilirea de relații analitice, cu care să se poată determina valorile diferitelor mărimi care intervin în criteriile amintite.

2.1. Criterii pentru aprecierea limitei de stabilitate

În prezența unei perturbații, motorul sincron trece în regim de pendulări. Apare o alunecare (S) care variază în timp împreună cu unghiul intern (θ).

În figura 1 s-au prezentat două exemple de pendulări maxime (la limita de stabilitate dinamică).

În această reprezentare, curba *a* corespunde unor pendulări la care motorul revine în sincronism la aceeași valoare a unghiului intern ca cea din regimul staționar inițial:

$$\theta_f = \theta_i. \quad (1)$$

Curba b este aferentă revenirii în sincronism la o valoare a unghiului final mai mare cu doi pași polari decît cea inițială :

$$\theta_f = 360 + \theta_i, \tag{2}$$

unde : θ_i, θ_f reprezintă unghiul intern inițial, respectiv cel final, în grade electrice.

Conform metodei se determină perechile de valori alunecare-unghi intern (S_{max}, θ_{max}) corespunzătoare pendulărilor maxime produse de perturbații, de la care motorul revine în sincronism fără sau cu alunecări de doi pași polari.

După determinarea acestor valori se consideră ca regimuri de mers sincron acelea în care pendulările S și θ au valori mai mici decît cele maxime, adică se utilizează un criteriu de mers sincron de forma :

$$(S, \theta)_s \in [S_s \times \Delta_s], \tag{3}$$

unde :

$$S_s = \{S/S < S_{max}\}\ ;\ \Delta_s = \{\theta/\theta < \theta_{max}\}. \tag{4}$$

Regimurile în care pendulările sînt caracterizate prin valori S, θ mai mari decît cele maxime sînt în mod cert regimuri asincrone, ceea ce corespunde unui criteriu de mers asincron de forma :

$$(S, \theta)_{as} = \bar{S}_s \cup \bar{\Delta}_s, \tag{5}$$

în care :

$$= \{S/S_{max} < S < 1{,}0\}\ ;\ \bar{\Delta}_s = \{\theta/\theta > \theta_{max}\} \tag{6}$$

pentru cazurile în care nu se admit alunecări de doi pași polari ale rotorului față de cîmpul învîrtitor statoric, și :

$$\theta_{max} = 360 + \theta_i\ ;\ \bar{\Delta}_s = \{\theta/\theta > 360 + \theta_i\} \tag{7}$$

pentru cazul cînd se admit alunecări de doi pași polari.

Grupul $(S, \theta)\, l = (S_{max}, \theta_{max})$ constituie limita dintre regimurile sincrone și cele asincrone în succesiunea lor și definește momentul de început al procesului de ieșire din sincronism.

În cazurile în care apare posibilitatea desprinderii din sincronism cu sistemul într-un nod îndepărtat al acestuia, se consideră ca regimuri asincrone și situațiile cînd frecvența tensiunii de la barele de alimentare a motorului este mai mică decît limita minimă admisă în funcționarea normală, adică se utilizează un criteriu de mers asincron de forma :

$$(S, \theta)_{as} \in \bar{S}_s \cup \bar{\Delta}_s \cup \bar{F}_s \text{ cu } \bar{F}_s = \{f/f < f_{min}\}, \tag{8}$$

unde : f, f_{min} sînt frecvența pe barele de alimentare a motorului, respectiv frecvența minimă admisă, Hz.

În acest caz, grupul $(S, \theta, f)l = (S_{max}, f_{min})$ constituie limita dintre regimurile sincrone și asincrone.

În funcție de specificul cazurilor studiate se pot considera și o serie de criterii particularizate din cel general, și anume :

$$(S, f)_{as} \in \bar{S}_s \cup \bar{F}_s\ ;\ (\theta, f)_{as} \in \bar{\Delta}_s \cup \bar{F}_s\ ;\ \theta_{as} \in \bar{\Delta}_s, \tag{9}$$

respectiv :

$$(S, f)_l = (S_{max}, f_{min})\ ;\ (\theta, f)_l = (\theta_{max}, f_{min})\ ;$$

$$\theta_l = \theta_{max}. \tag{10}$$

În situațiile cel mai des întîlnite avem :

$$S_{as} = \bar{S}_s, \text{ respectiv } S_l = S_{max}. \tag{11}$$

2.2. Criterii de stabilire a condițiilor de conectare a excitației pentru sincronizare sau resincronizare

Pentru stabilirea condițiilor de conectare a excitației, metoda constă în determinarea valorii alunecării de mers în regim asincron stabilizat (S_1) și a unui unghi intern de anticipare a conectării (θ_a) la care procesul de sincronizare se realizează cu pendulări minime ca număr și ca amplitudine și cu durată minimă a procesului de accelerare în sincronism. De asemenea, se mai determină valoarea limită a unghiului intern la care, prin conectarea excitației motorul se mai sincronizează (θ_1).

Comanda conectării excitației se produce atunci cînd alunecarea S are o valoare S_a cuprinsă între zero și S_1, iar unghiul intern θ între θ_1 și θ_a. Criteriul pentru conectarea excitației este :

$$(S, \theta)_i \in S \cap \Delta, \tag{12}$$

unde :

$$S_i = \{S/S \leqslant S_a\}\ ;\ \Delta_i = \{\theta/\theta_a \leqslant \theta \leqslant \theta_1\}. \tag{13}$$

Pentru o conectare a excitației în condiții optime, criteriul devine :

$$(S, \theta)_{io} = (S_a, \theta_a). \tag{14}$$

În anumite cazuri se poate aplica o formă particularizată a criteriului, și anume :

$$S_i \in S_i = \{S/S \leqslant S_a\}. \tag{15}$$

Conectarea excitației cu un unghi de anticipare este necesară (mai ales la resincronizări în sarcină) pentru a se asigura în momentul izocronismului celor două cîmpuri a unui cuplu sincron capabil să accelereze rotorul la sincronism în intervalul de unghi intern ce definește regimul de mers sincron.

2.3. Determinarea valorilor mărimilor din criteriile folosite

Pentru stabilirea valorilor mărimilor care intră în componența criteriilor de stabilitate și de conectare a excitației s-a folosit metoda

modelării matematice. Modelele matematice au fost astfel întocmite încît să considere toate elementele schemei reale și fenomenele care se produc în acestea.

Din acest motiv s-a plecat de la modelul general al motorului sincron, care s-a completat cu ecuațiile funcționale specifice schemei.

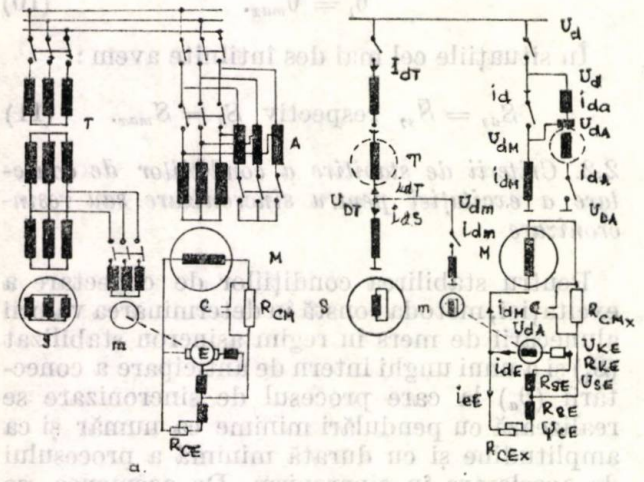


Fig. 2. Exemplu de subsistem la motoarele sincrone : a — schema reală ; b — schema echivalentă.

Determinarea valorilor căutate (pentru fiecare tip de perturbație) s-a făcut rezolvînd pe calculator printr-o metodă de integrare numerică sistemul de ecuații algebro-diferențiale care compun modelul.

Un exemplu de subsistem de acționare este prezentat în figura 2.

În figura 2 *a* se prezintă schema reală avută în considerare, compusă din : motorul sincron *M* alimentat prin autotransformatorul *A* ; excitatricea *E* antrenată de motorul asincron *m* ; transformatorul *T* care alimentează motorul *m* și o sarcină asincronă adiacentă *S*.

În figura 2 *b* s-a prezentat schema echivalentă după axele *d* ale elementelor sistemului.

Modelul matematic elaborat pentru acest exemplu conține ecuațiile :

$$\left.\begin{aligned} U_d &= R_{dA}\cdot i_{dA} + \frac{d\psi}{dt} - \omega_s\cdot\psi_{qA} + U_{dA} \\ U_q &= R_{qA}\cdot i_{qA} + \frac{d\psi_{qA}}{dt} + \omega_s\cdot\psi_{dA} + U_{qA} \end{aligned}\right\} \quad (16)$$

$$\left.\begin{aligned} -U_{DA} &= R_{DA}\cdot i_{DA} + \frac{d\psi_{DA}}{dt} - \omega_s\cdot\psi_{QA} + U_{dA} \\ -U_{QA} &= R_{QA}\cdot i_{QA} + \frac{d\psi_{QA}}{dt} + \omega_s\cdot\psi_{DA} + U_{qA} \end{aligned}\right\} \quad (17)$$

$$\left.\begin{aligned} U_{dM} &= R_{dM}\cdot i_{dM} + \frac{d\psi_{dA}}{dt} + \psi_{qM}\cdot\frac{d\nu}{dt} \\ U_{qM} &= R_{qM}\cdot i_{qM} + \frac{d\psi_{qM}}{dt} + \psi_{dM}\cdot\frac{d\nu}{dt} \end{aligned}\right\} \quad (18)$$

$$\left.\begin{aligned} 0 &= R_{DM}\cdot i_{DM} + \frac{d\psi_{QM}}{dt} \\ 0 &= R_{QM}\cdot i_{QM} + \frac{d\psi_{QM}}{dt} \end{aligned}\right\} \quad (19)$$

$$U_{EM} = (R_{EM} + R_{CMx})\cdot i_{EM} + \frac{d\psi_{EM}}{dt} + U_{E0} \quad (20)$$

$$\left.\begin{aligned} U_d &= R_{dT}\cdot i_{dT} + \frac{d\psi_{dT}}{dt} - \omega_s\cdot\psi_{qT} \\ U_q &= R_{qT}\cdot i_{qT} + \frac{d\psi_{qT}}{dt} + \omega_s\cdot\psi_{dT} \end{aligned}\right\} \quad (21)$$

$$\left.\begin{aligned} -U_{DT} &= R_{DT}\cdot i_{DT} + \frac{d\psi_{DT}}{dt} - \omega_s\cdot\psi_{QT} \\ -U_{QT} &= R_{QT}\cdot i_{QT} + \frac{d\psi_{QT}}{dt} + \omega_s - \psi_{DT} \end{aligned}\right\} \quad (22)$$

$$\left.\begin{aligned} U_{dm} &= R_{dm}\cdot i_{dm} + \frac{d\psi_{am}}{dt} - \psi_{qm}\cdot\frac{d\gamma_1}{dt} \\ U_{qm} &= R_{qm}\cdot i_{qm} + \frac{d\psi_{qm}}{dt} + \psi_{dm}\cdot\frac{d\gamma_1}{dt} \end{aligned}\right\} \quad (23)$$

$$\left.\begin{aligned} 0 &= R_{Dm}\cdot i_{DM} + \frac{d\psi_{Dm}}{dt} - \psi_{Qm}\cdot\frac{d\gamma_2}{dt} \\ 0 &= R_{Qm}\cdot i_{Qm} + \frac{d\psi_{Qm}}{dt} + \psi_{Dm}\cdot\frac{d\gamma_2}{dt} \end{aligned}\right\} \quad (24)$$

$$U_{qE} = -R_{aE}\cdot i_{aE} - \frac{d\psi_{qE}}{dt} + (\psi_{pqE} \pm \psi_{sqE})\cdot\frac{d\gamma_r}{dt} \quad (25)$$

$$\left.\begin{aligned} U_{KE} &= R_{KE}\cdot i_{aE} + \frac{d\psi_{KE}}{dt} \\ U_{SE} &= R_{SE}\cdot i_{aE} + \frac{d\psi_{SE}}{dt} \end{aligned}\right\} \quad (26)$$

$$U_{EM} = (R_{eE} + R_{cEx})\cdot i_{eE} + \frac{d\psi_{eE}}{dt} + U_{E0} \quad (27)$$

$$M_{eM} = M_{rM} + \frac{J_M}{p_M} \cdot \frac{d^2\nu}{dt^2} \quad (28)$$

$$M_{em} = p \cdot (\psi_{pqE} \pm \psi_{sqE}) \cdot i_{aE} - \frac{J_{me}}{p_m} \cdot \frac{d^2\nu}{dt^2} \quad (29)$$

unde: $\omega_s = \frac{d\gamma}{dt}$; $\omega_{sm} = \frac{d\gamma_1}{dt}$; $\omega_m = \frac{d\gamma_r}{dt}$ (30)

$$\gamma_1 = \omega_s \cdot t - \delta_m - \frac{\pi}{2} \; ; \; \gamma_2 = S_m \cdot \omega_s \cdot t + \frac{\pi}{2} \quad (31)$$

$$\gamma_r = \gamma_1 - \gamma_2 \; ; \; \gamma = \omega_c \cdot t - \delta_m - \frac{\pi}{2} \quad (32)$$

$$\frac{d\delta_M}{dt} S_M \cdot \omega_s \quad (33)$$

3. Descrierea instalațiilor SINCROOPT

3.1. Destinația și domeniul de utilizare

Instalația este destinată unor grupuri de acționări cu motoare sincrone care antrenează mașini de lucru cu caracteristică mecanică de tip ventilator, care sînt alimentate de la o singură secție de bare sau de la mai multe.

Funcțiile pe care le realizează instalația sînt următoarele:

3.1.1. Comanda manevrelor curente de porniri și opriri ale motoarelor din grup.

3.1.2. Menținerea în funcțiune a acționărilor la perturbații de scurtă durată, la care nu este necesară descărcarea sarcinii mașinii de lucru. Perturbațiile la care se realizează menținerea continuității în funcționare sînt:

— goluri de tensiune;

— microîntreruperi ale tensiunii de alimentare de tip „reanclanșare automată rapidă — RAR" și „anclanșare automată a rezervei";

— variații ale tensiunii de alimentare cu durate pînă la șapte secunde;

— scăderi ale frecvenței sub valoarea minimă normată ca urmare a evenimentelor din sistem sau a izolării grupului, cu durate ca mai sus;

— scăderi ale tensiunilor de excitație sub valorile minime de funcționare în sincronism, avînd aceleași plaje de timp.

3.1.3. Optimizarea următoarelor operații:

— sincronizări la pornirea motoarelor;

— trecerea în asincron după ieșiri din sincronism;

— izolări de sistemul energetic după desprinderi intempestive și eventual funcționarea insulară a grupului într-un microsistem deficitar de putere;

— reconectări ale motoarelor după izolări de tipul menționat mai sus;

— resincronizări după funcționări de scurtă durată în regim asincron.

3.1.4. Semnalizarea cu memorare a ordinii de apariție a principalelor mărimi perturbatoare sau perturbate, și anume:

— goluri de tensiune cu caracteristici (profunzimi și durate) mai mari decît cele la care aptitudinea naturală a acționărilor de funcționare în sincronism nu este depășită;

— întreruperi ale tensiunii de alimentare;

— ieșirea din sincronism a motoarelor.

3.1.5. Semnalizarea fără memorare a următoarelor situații:

— prezența tensiunii normale de alimentare pe fiecare secție de bare;

— apariția unor defecte în diferitele părți componente ale instalației SINCROOPT.

3.1.6. Comanda protecțiilor obișnuite ale motoarelor.

3.1.7. Blocarea funcționării SINCROOPT la defecte interne.

3.2. Componența instalației

Instalația se compune dintr-o serie de dispozitive grupate în sisteme (subansambluri) cu funcții specifice.

În figura 3 s-a prezentat un exemplu referitor la o instalație aferentă unui grup de cinci motoare alimentate din două secții de bare.

În această figură, la cele două secții de bare (S1, S2) alimentate prin întrerupătoarele de fidere (IF1, IF2) sînt conectate cinci motoare sincrone (M1...M5) avînd întrerupătoarele de motor (IM1...IM5).

Semnalele protecțiilor obișnuite ale motoarelor sînt colectate de releele culegătoare de protecții (RCP1...RCP5). Fiecare motor este prevăzut cu cîte un tahogenerator cu impulsuri montat pe arbore (TG1...TG5).

Părțile funcționale ale instalației SINCROOPT folosită sînt următoarele:

3.2.1. Sistemul de informație și memorie (SIM)

Acest sistem furnizează informații care caracterizează starea rețelei de alimentare (prin subsistemul SIM-B, în cazul exemplificat SIM-B1, respectiv SIM-B2); starea și evoluția regimurilor de funcționare pentru fiecare motor (prin subsistemul SIM-M, în acest caz SIM-M1... ...SIM-M5).

O parte SIM-B conține: un traductor de frecvență; două traductoare de tensiune (unul pentru gama de tensiuni normale și altul pentru tensiunea nulă); un dispozitiv care prescrie curba de aptitudine calculată a motoarelor.

Partea SIM-M cuprinde: un traductor de alunecare care utilizează un tahogenerator de

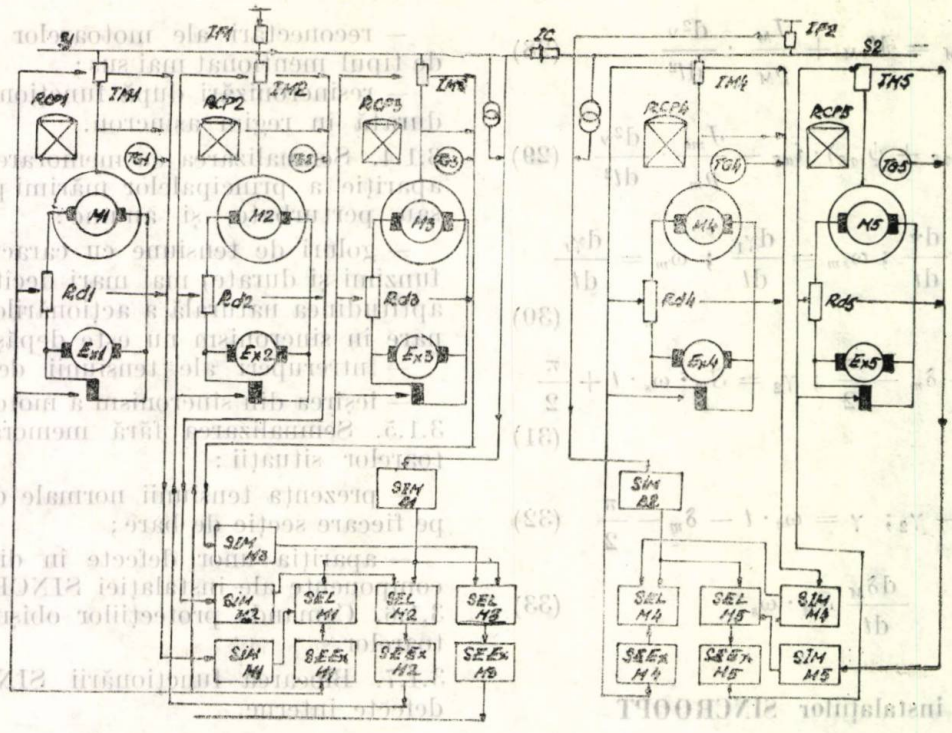


Fig. 3. Exemplu de schemă a unei instalații SINCROOPT cu cinci motoare sincrone.

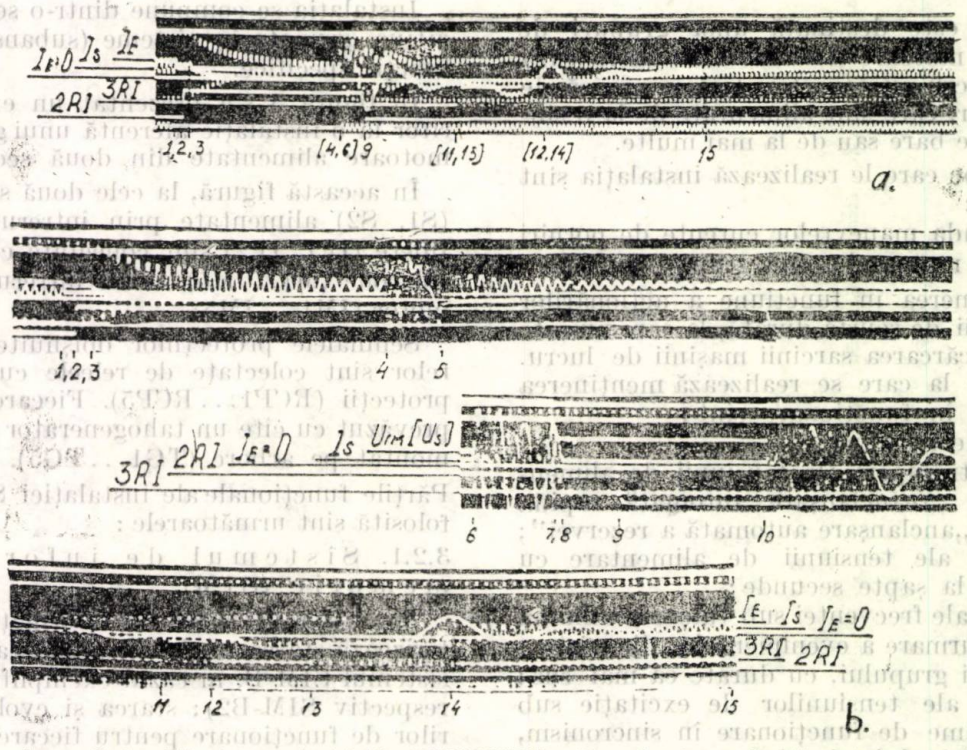


Fig. 4. Exemple de rezultate obținute cu instalația SINCROOPT: U_S — tensiunea de alimentare a motorului (care pe duratele pauzelor devine tensiunea remanentă U_{RM}); I_S — curentul statoric al motorului; 2RI — contactul releului care comandă deconectarea excitației; 3RI — contactul releului de reconectare a excitației pentru sincronizare; 1 — desprinderea de sistem a motorului de acționare; 2 — comanda trecerii și a menținerii în asincron și a stingerii cîmpului; 3 — începutul procesului de stingere a cîmpurilor polare remanente; 4 — sfîrșitul primei pauze de RAR; 4 la 5 — revenirea pentru scurtă durată a tensiunii de alimentare din sistem și, în consecință, o reaccelerare pe aceeași durată în asincron; 5 la 6 — cea de a doua pauză a RAR realizat prin întrerupătorul de alimentare a barei; 6 — revenirea definitivă a tensiunii de alimentare din sistem; 7 — o comandă (dintr-o cauză oarecare) de demarare a unui nou RAR prin întrerupătorul de alimentare a motorului; 8 — începutul celei de a treia pauze de RAR; 8 la 10 — a treia pauză de RAR; 9 — sesizarea îndeplinirii condițiilor de autopornire și renunțarea la menținerea în asincron; 10 — reconectarea automată (reprinderea la sistem) comandată de către instalație a întrerupătorului; 11 la 12 — prima comandă de resincronizare; 13 la 14 — comandă finală de resincronizare; 14 — la 15 — pendulări după resincronizare.

impulsuri montat pe arborele motorului; un traductor de tensiune de excitație și intrările la releul culegător de protecții (scurtcircuit, dublă punere la pămînt rotorică, punere la pămînt statorică etc.).

În instalație există atîtea părți SIM-B cîte secții de bare există, respectiv atîtea părți SIM-M cîte motoare sînt comandate. În componența sistemului SIM intră și părțile de semnalizare cu și fără memorie.

3.2.2. Sistemul de elemente logice (SEL)

Sistemul SEL are rolul de a prelua informațiile de la SIM și de a forma funcțiile logice pentru fiecare motor (în exemplu SEL-M1... ...SEL-M5).

O parte SEL-M este alcătuită din: un dispozitiv de sesizare a ieșirii din sincronism și de comandă a trecerii în asincron cu deconectarea excitației motorului; un dispozitiv de sesizare a condițiilor de sincronizare sau de resincronizare și de comandă a sincronizării la pornire sau a resincronizării în sarcină; un dispozitiv de comandă a stingerii cîmpului polar al motorului sau (și) al excitatoarei; un dispozitiv de comandă a deconectării motorului; un dispozitiv de sesizare a desprinderii de sistem și de comandă a separării tranzitorii a motorului; un dispozitiv de sesizare a condițiilor de pornire sau de reconectare la sistem cu realizarea comenzilor respective.

Fiecărui motor îi corespunde o parte SEL-M (în cazul prezentat SEL-M1...SEL-M5).

3.2.3. Sistemul de elemente de execuție (SEEX)

Sistemul SEEX este constituit din grupe de relee, cîte o grupă pentru fiecare motor (SEEX-M1...SEEX-M5).

O parte SEEX-M are rolul de a realiza comenzile date de SEL și mai cuprinde amplificatoarele de putere necesare excitării bobinelor, precum și dispozitive de blocare a funcționării instalației SINCROOPT la defecte interne.

4. Rezultate experimentale obținute

Instalația SINCROOPT a fost realizată în prezent în condiții de produs industrial de serie. Din încercările necesare implementării în producție s-au obținut rezultate care au îndreptățit funcționalitatea de concepție. Se prezintă în continuare două probe mai sugestive (din cele circa 180 efectuate).

În figura 4 sînt redate oscilogramele obținute la simularea în condiții industriale a unor reanclanșări automate rapide (RAR) asupra unui ansamblu motor sincron-instalație SINCROOPT.

Oscilograma 4 *a* reprezintă comportarea ansamblului la un RAR cu pauza de 0,5 secunde.

Oscilogramele 4 *b* corespund unei perturbații mai complexe, și anume:

— două RAR-uri consecutive realizate prin întrerupătorul de alimentare a barei, cu pauzele de 0,67, respectiv 2,06 secunde separate de o revenire a tensiunii din sistem pe o durată de 0,12 secunde;

— o revenire a tensiunii de 0,19 secunde, după care urmează un RAR realizat prin întrerupătorul motorului cu pauza de 0,43 s.

În exemplul 4 *a* unele din operațiile descrise lipsesc, perturbația fiind mai simplă.

Concluzii

Sensibilitatea motoarelor sincrone la perturbații de scurtă durată constituie un dezavantaj al utilizării acestora la procesele tehnologice cu exigențe ridicate în ceea ce privește continuitatea în funcționare. Acest dezavantaj poate fi evitat prin folosirea unor instalații automate care să controleze caracteristicile perturbațiilor, să le compare cu cele pe care acționarea le poate suporta prin aptitudinea ei intrinsecă și să comande deconectarea motorului numai cînd aceasta este depășită.

În articol se descrie o instalație realizată în acest sens, împreună cu considerațiile teoretice pe care s-a bazat.

Bibliografie

[1] Ijac, Gh. și colectiv. *Dispozitive și instalații de comandă, menținere în funcțiune și optimizare a unor procese ale sistemelor de acționare cu motoare sincrone.* În: Energetica, vol. 31, nr. 1, 2, 3. București, 1984.

[2] Mihăileanu, C. și Potlog, D. *Goluri de tensiune în sisteme electroenergetice.* Editura Tehnică, București, 1979.

(Primit la 14 septembrie 1988, acceptat la 22 noiembrie 1988)

Un model matematic pentru optimizarea consumurilor specifice de energie

Ing. Titus Doru Haţiegan*

Descriptori: consumuri specifice de energie, model matematic, optimizare

CZ: 621.311.21.004.1

În lucrare se încearcă descrierea consumului de energie W al unei instalaţii industriale, printr-o funcţie liniară de n variabile, liniar independente, în care fiecare variabilă este ataşată unui factor de influenţă a consumului. Se descriu căile de determinare a expresiei analitice a acestei funcţii.

Aceeaşi descriere matematică se dă şi producţiei P realizate cu consumul de energie W, după care se determină expresia analitică a funcţiei care descrie variaţia consumului specific de energie $w = W/P$ în raport cu factorii de influenţă.

În continuare se stabilesc punctele de minim ale consumului specific de energie în raport cu una din variabile, iar apoi se descriu diferite metode de determinare a unui optim global de funcţionare a instalaţiei, criteriul fiind minimizarea consumului specific de energie. În raport de expresia particulară a funcţiei consumului specific de energie, minimizarea acesteia se poate face fără restricţii asupra variabilelor, sau se impun restricţii, cînd sînt posibile două variante: minimizarea unei funcţii neliniare sau a unei funcţii liniare.

În concluzie se prezintă limitările modelului matematic din cauza aproximărilor făcute şi faptul că acest model este susceptibil de perfecţionări.

The paper describes the energy consumption W of an industrial installation using a linear function of independently linear variables, where each variabile is linked to a consumption influence factor. The ways of determining the analytical expression of this function are described.

The same mathematical description is also given for the production P obtained with energy consumption W, after which the analytical expression of the function determining the variation of the specific energy consumption $w = W/P$ with regard to the influence factor is presented.

Further, the minimum points of the specific energy consumption in relation to one of the variables are established. The various methods of determining the installation overall running optimum obeying the criterion specific energy consumption minimization are described. Minimization of the specific energy consumption function depending on its particular expression can be performed without restrictions on the variables, or restrictions are imposed when two variants are possible: minimization of a non-linear function or of a linear one.

In conclusion the paper deals with the limitations imposed to the mathematical model owing to the approximations done, and to the fact that this model is liable to improvements.

1. Consum de energie

Consumul de energie al unei instalaţii industriale, în care printr-o anumită tehnologie se obţine dintr-o materie primă un produs finit, depinde de mai mulţi factori, cum ar fi:

- capacitatea de prelucrare a instalaţiei;
- gradul de uzură a utilajelor;
- caracteristicile fizico-chimice ale materiei prime;
- factori naturali (distanţe, adîncimi etc.);
- măsuri de protecţie a muncii şi a mediului ambiant;
- gradul de recuperare a resurselor energetice secundare;
- siguranţa în funcţionare etc.

Din punct de vedere matematic, putem considera consumul de energie o funcţie W de n variabile, liniar independente, fiecare variabilă fiind ataşată unui factor de influenţă:

$$W = f(x_1, x_2, \ldots, x_n). \tag{1}$$

Aceste variabile, din punct de vedere fizic, au sens numai pentru valori pozitive, iar valoarea funcţiei W are de asemenea numai valori pozitive; prin urmare se poate scrie:

$$W : R_+^n \to R_+. \tag{2}$$

În general, fiecare variabilă este definită pe un interval:

$$x_i \in [a_i, b_i], \quad 0 \leqslant a_i < b_i < +\infty \tag{3}$$

astfel încît domeniul de definiţie al funcţiei W este produsul cartezian al acestor intervale:

$$W : \prod_{i=1}^{n} [a_i, b_i] \to R_+. \tag{4}$$

Expresia analitică a funcţiei W nu se cunoaşte, dar pe baza unor considerente rezultate din practică se presupune că funcţia are o dependenţă liniară, în raport cu fiecare variabilă. În acest caz expresia funcţiei W devine:

$$W = c_0 + c_1x_1 + c_2x_2 + \ldots + c_nx_n = \\ = c_0 + \sum_{i=1}^{n} c_ix_i, \tag{5}$$

* Ing. Doru Titus Haţiegan — Institutul de Cercetări şi Proiectări Miniere pentru Substanţe Nemetalifere — Cluj-Napoca.

unde :

$$X = (x_1, x_2, \ldots, x_n) \in \prod_{i=1}^{n} [a_i, b_i],$$

$$c_i \in R, \; i = \overline{0, n}. \tag{6}$$

c_i sînt constante reale, ce trebuie determinate. În general valoarea funcției W se cunoaște într-un punct, corespunzător valorilor nominale ale variabilelor. :

$$W(X_{nom}) = W_{nom} = c_0 + \sum_{i=1}^{n} c_i (x_i)_{nom}. \tag{7}$$

Din punct de vedere geometric, expresia (5) reprezintă un plan în spațiul n-dimensional. În figura 1 este reprezentat acest plan în cazul particular $n = 3$.

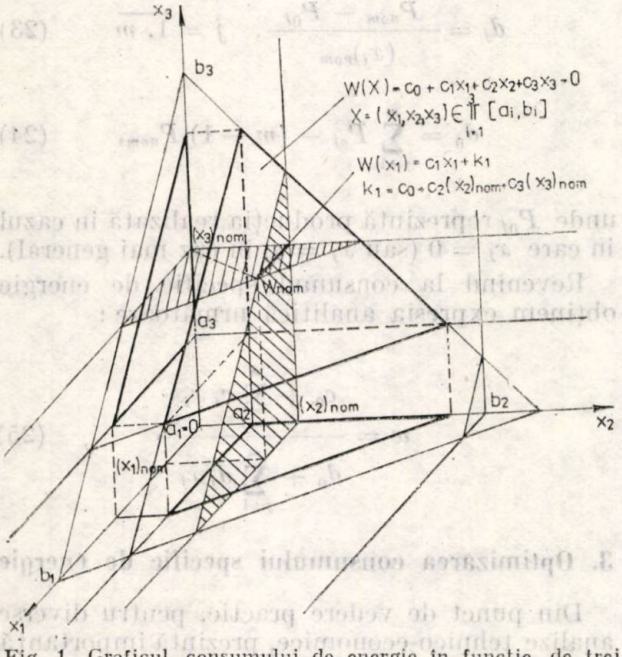


Fig. 1. Graficul consumului de energie în funcție de trei variabile.

Un interes practic deosebit prezintă dependența consumului de energie de unul din factorii de influență. Pentru a obține această dependență, se fixează celelalte variabile la valorile nominale corespunzătoare. Fie x_i variabila față de care se studiază dependența consumului de energie. Procedînd ca mai sus, obținem :

$$W(x_i) = c_i x_i + k_i, \tag{8}$$

$$k_i = c_0 + c_1 (x_1)_{nom} + \ldots + c_{i-1}(x_{i-1})_{nom} + c_{i+1}(x_{i+1})_{nom} + \ldots + c_n(x_n)_{nom}. \tag{9}$$

Din punct de vedere geometric ecuația (8) reprezintă o dreaptă. Această dreaptă apare în figura 1 ca intersecție a planelor paralele cu planele de coordonate și care trec prin punctul corespunzător valorilor nominale ale variabilelor. În figura 2 este reprezentată aceeași

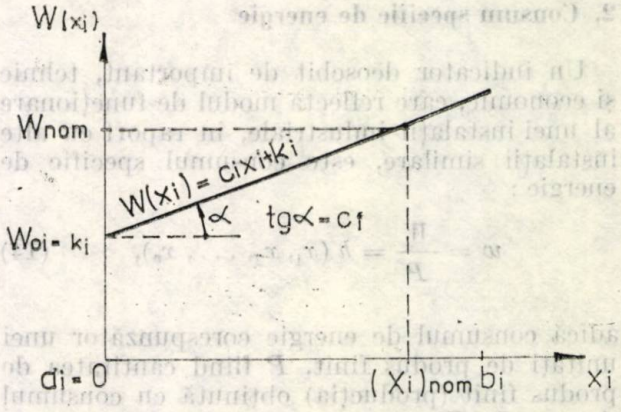


Fig. 2. Graficul dependenței consumului de energie de variabila x_i.

dreaptă în planul de coordonate (x_i, W). Pentru a determina coeficienții c_i și k_i trebuie să cunoaștem cel puțin coordonatele a două puncte situate pe dreapta reprezentată prin ecuația (8). După cum am arătat anterior, se cunosc valorile nominale, deci se cunosc coordonatele punctului corespunzător $((x_i)_{nom}, W_{nom})$. Al doilea punct, pentru care în majoritatea cazurilor practice se poate determina mărimea energiei consumate W_{0i} este cel corespunzător valorii $x_i = a_i$, adică punctul de coordonate (a_i, W_{0i}). Deoarece în cele mai multe cazuri $a_i = 0$, W_{0i} reprezintă consumul de energie la funcționarea în gol a instalației în raport cu variabila x_i. Pe baza acestor considerații, putem scrie :

$$k_i = W_{0i}, \quad i = \overline{1, n}, \tag{10}$$

$$c_i = \frac{W_{nom} - W_{0i}}{(x_i)_{nom}}, \quad i = \overline{1, n}. \tag{11}$$

Cu aceasta dreapta reprezentată prin ecuația (8) este complet determinată.

Cunoscînd toate dreptele :

$$W(x_i) = c_i x_i + k_i, \quad i = \overline{1, n}$$

se pune problema inversă, a determinării funcției (5). Pentru aceasta rămîne să se determine constanta c_0. Din relația (9) rezultă :

$$c_0 = k_i - c_1(x_1)_{nom} - \ldots - c_{i-1}(x_{i-1})_{nom} - c_{i+1}(x_{i+1})_{nom} - \ldots - c_n(x_n)_{nom} \tag{12}$$

Înlocuind relațiile (10), (11) în (12), obținem :

$$c_0 = \sum_{i=1}^{n} W_{0i} - (n-1) W_{nom}. \tag{13}$$

Cu aceasta expresia funcției W, a consumului de energie în funcție de diferiți factori, este complet determinată.

2. Consum specific de energie

Un indicator deosebit de important, tehnic și economic, care reflectă modul de funcționare al unei instalații industriale, în raport cu alte instalații similare, este consumul specific de energie :

$$w = \frac{W}{P} = h\,(x_1, x_2, \ldots, x_n), \tag{14}$$

adică consumul de energie corespunzător unei unități de produs finit, P fiind cantitatea de produs finit (producția) obținută cu consumul de energie W.

Producția, la rîndul ei, este o funcție de unii din factorii care influențează consumul de energie, deci putem scrie :

$$P = g(x_1, x_2, \ldots, x_m) \tag{15}$$

$$P : R_+^m \to R_+ \tag{16}$$

$$P : \prod_{j=1}^{m} [a_j, b_j] \to R_+ \tag{17}$$

unde $m \leqslant n$. Ultima inegalitate se poate demonstra : producția unei instalații industriale depinde de variațiile capacității de prelucrare, dar nu depinde de variațiile unor factori naturali, cum ar fi mărimea distanțelor de transport din instalația industrială.

Expresia analitică a funcției P nu se cunoaște, dar pe baza unor aproximații se presupune că funcția are o dependență liniară, în raport cu fiecare variabilă. În acest caz expresia funcției devine :

$$P = d_0 + d_1 x_1 + \ldots + d_m x_m = d_0 + \sum_{j=1}^{m} d_j x_j, \tag{18}$$

$$X = (x_1, x_2, \ldots, x_m) \in \prod_{j=1}^{m} [a_j, b_j],$$

$$d_j \in R,\ j = \overline{0, m}, \tag{19}$$

d_j fiind constante reale ce trebuie determinate. Se cunoaște valoarea acestei funcții în punctul corespunzător valorilor nominale :

$$P(X_{nom}) = P_{nom} = d_0 + \sum_{j=1}^{m} d_j (x_j)_{nom}. \tag{20}$$

Din punct de vedere geometric, expresia funcției P reprezintă un plan în spațiul m-dimensional, putîndu-se repeta raționamentele făcute în cazul funcției W a consumului de energie.

Și în acest caz prezintă un interes practic deosebit dependența valorii producției de un singur factor de influență ; fie x_j acesta :

$$P(x_j) = d_j x_j + l_j \tag{21}$$

$$l_j = d_0 + d_1 (x_1)_{nom} + \ldots + d_{j-1} (x_{j-1})_{nom} + d_{j+1} (x_{j+1})_{nom} + \ldots + d_m (x_m)_{nom}. \tag{22}$$

Fără a ne repeta, putem scrie prin analogie :

$$l_j = P_{0j}, \qquad j = \overline{1, m} \tag{22}$$

$$d_j = \frac{P_{nom} - P_{0j}}{(x_i)_{nom}}, \quad j = \overline{1, m} \tag{23}$$

$$d_0 = \sum_{j=1}^{m} P_{oj} - (m-1)\, P_{nom}, \tag{24}$$

unde P_{0j} reprezintă producția realizată în cazul în care $x_j = 0$ (sau $x_j = a_j$ în caz mai general).

Revenind la consumul specific de energie obținem expresia analitică următoare :

$$w = \frac{c_0 + \sum_{i=1}^{n} c_i x_i}{d_0 + \sum_{j=1}^{m} d_j x_j}. \tag{25}$$

3. Optimizarea consumului specific de energie

Din punct de vedere practic, pentru diverse analize tehnico-economice, prezintă importanță dependența consumului specific de energie de una din variabile, fie aceasta x_i. Există două cazuri :

a) $0 < i \leqslant m$. În această situație, pe baza considerațiilor anterioare, putem scrie :

$$w(x_i) = \frac{W(x_i)}{P(x_i)} = \frac{c_i x_i + k_i}{d_i x_i + l_i} = \frac{1}{\frac{d_i}{c_i} + \frac{l_i}{c_i}\frac{1}{x_i}} + \frac{1}{\frac{d_i}{k_i} x_i + \frac{l_i}{k_i}}. \tag{26}$$

Introducînd notațiile :.

$$\frac{d_i}{c_i} = p_i, \quad \frac{l_i}{c_i} = q_i, \quad \frac{d_i}{k_i} = r_i, \quad \frac{l_i}{k_i} = s_i \tag{27}$$

obținem :

$$w(x_i) = \frac{1}{p_i + \dfrac{q_i}{x_i}} + \frac{1}{r_i x_i + s_i}. \qquad (28)$$

Graficul funcției este reprezentat în figura 3. Funcția $w(x_i)$ are un minim dacă este îndeplinită condiția :

$$q_i r_i \leqslant 0. \qquad (29)$$

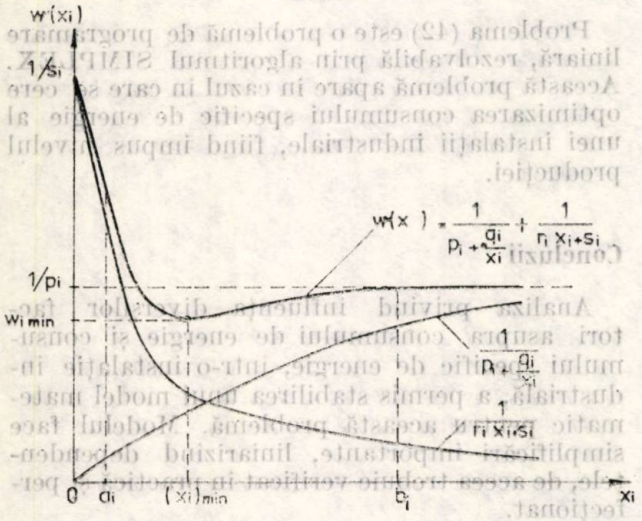


Fig. 3. Graficul dependenței consumului specific de energie de variabila x_i $(0 < i \leqslant m)$.

Această condiție rezultă din anularea derivatei $\dfrac{dw(x_i)}{dx_i}$ și asigură existența unor valori reale pentru variabila x_i, corespunzătoare minimului funcției $w(x_i)$. Faptul că în acel punct $w(x_i)$ are un minim se stabilește calculînd a doua derivată în acel punct, semnul ei trebuind să fie negativ. Bineînțeles, valoarea $(x_i)_{min}$ astfel determinată trebuie să îndeplinească condiția :

$$(x_i)_{min} \in [a_i, b_i]; \qquad (30)$$

în caz contrar nu se poate realiza practic minimul funcției $w(x_i)$ în interiorul domeniului de definiție.

b) $m < i \leqslant n$. În această situație putem scrie :

$$w(x_i) = \frac{W(x_i)}{P_{nom}} = \frac{c_i x_i + k_i}{P_{nom}} = \frac{c_i}{P_{nom}} + \frac{k_i}{P_{nom}}. \qquad (31)$$

Introducînd notațiile :

$$\frac{c_i}{P_{nom}} = c_i, \quad \frac{k_i}{P_{nom}} = k_i' \qquad (32)$$

se obține :

$$w(x_i) = c_i' x_i + k_i' \qquad (33)$$

ceea ce reprezintă ecuația unei drepte, graficul ei fiind reprezentat în figura 4.

Remarcăm că în acest caz nu se pune problema existenței unui minim pentru valoarea consumului specific de energie $w(x_i)$ în interiorul intervalului $[a_i, b_i]$; acest minim există la una din extremitățile intervalului.

Determinarea unui punct optim de funcționare, unde consumul specific de energie este minim, în raport cu toate variabilele, se face rezolvînd sistemul :

$$\frac{\partial w(x_i)}{\partial x_i} = 0, \quad i = \overline{1, n} \qquad (34)$$

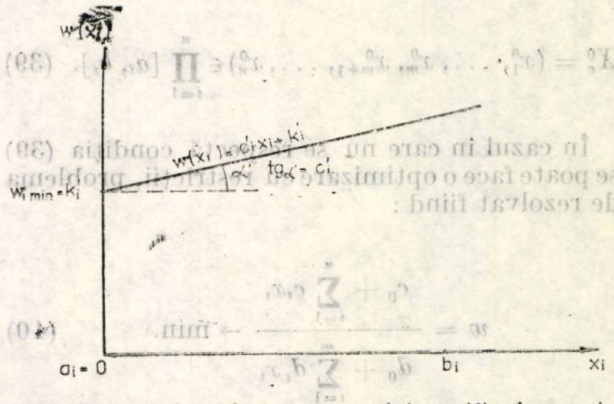


Fig. 4. Graficul dependenței consumului specific de energi de variabila x_i $(m < i \leqslant n)$.

Pentru $0 < i \leqslant m$ avem :

$$\frac{\partial w(x_i)}{\partial x_i} = \frac{c_i d_0 - c_0 d_i + \sum_{j=1}^{m} (c_i d_j - c_j d_i) x_j - d_i \sum_{j=m+1}^{n} c_j x_j}{\left(d_0 + \sum_{j=1}^{m} d_j x_j\right)^2} = 0, \qquad (35)$$

iar pentru $m < i \leqslant n$ avem :

$$\frac{\partial w(x_i)}{\partial x_i} = \frac{c_i}{P_n} = c_i' = \text{const.}, \qquad (36)$$

adică în acest caz derivatele nu depind de valorile variabilelor.

Rezultă în final următorul sistem de ecuații :

$$\sum_{j=1}^{m} (c_i d_j - c_j d_i) x_j = c_0 d_i - c_i d_0 + d_i \sum_{j=m+1}^{n} c_j x_j, \quad i = \overline{1, m} \qquad (37)$$

în care x_j, $j = \overline{1, m}$, sînt variabilele principale, iar x_j, $j = \overline{m+1, n}$, sînt variabilele independente. Sistemul este compatibil dacă determinantul principal nu este nul :

$$|c_i d_j - c_j d_i| \neq 0, \quad i = \overline{1, m}, \quad j = \overline{1, m} \tag{38}$$

în ipoteza că cel puțin unul din termenii liberi este diferit de zero.

Rezolvarea sistemului se poate face algoritmic, pe calculator electronic. Soluția obținută $X^0 = (x_1^0, \ldots, x_m^0)$ depinde de cele $(n-m)$ variabile independente. Soluția completă este acceptabilă numai dacă aparține domeniului de definiție :

$$X_c^0 = (x_1^0, \ldots, x_m^0, x_{m+1}^0, \ldots, x_n^0) \in \prod_{i=1}^{n} [a_i, b_i]. \tag{39}$$

În cazul în care nu se respectă condiția (39) se poate face o optimizare cu restricții, problema de rezolvat fiind :

$$w = \frac{c_0 + \sum_{i=1}^{n} c_i x_i}{d_0 + \sum_{i=1}^{m} d_i x_i} \to \min. \tag{40}$$

$$x_i \in [a_i, b_i], \quad i = \overline{1, n}.$$

Problema (40) este o problemă de programare neliniară (w este o funcție neliniară), rezolvarea fiind posibilă numai cu metode iterative. Această problemă apare cînd se cere dimensionarea unei instalații industriale optime, din punctul de vedere al consumului specific de energie fără a se impune aprioric nivelul producției, acesta rezultînd ulterior.

În cazul în care se introduce ca restricție mărimea producției P_{nom} :

$$P = d_0 + \sum_{j=1}^{m} d_j x_j = P_{nom} \tag{41}$$

problema (40) se simplifică și devine :

$$w = c_0' + \sum_{i=1}^{n} c_i' x_i \to \min.$$

$$d_0 + \sum_{i=1}^{m} d_i x_i = P_{nom} \tag{42}$$

$$x_i \in [a_i, b_i], \quad i = \overline{1, n}$$

$$\text{unde } c_i' = \frac{c_i}{P_{nom}}, \quad i = \overline{0, n}.$$

Problema (42) este o problemă de programare liniară, rezolvabilă prin algoritmul SIMPLEX. Această problemă apare în cazul în care se cere optimizarea consumului specific de energie al unei instalații industriale, fiind impus nivelul producției.

Concluzii

Analiza privind influența diverșilor factori asupra consumului de energie și consumului specific de energie, într-o instalație industrială, a permis stabilirea unui model matematic pentru această problemă. Modelul face simplificări importante, liniarizînd dependențele, de aceea trebuie verificat în practică și perfecționat.

Modelul matematic permite studierea ponderilor diverșilor factori asupra consumurilor energetice, determinarea condițiilor de realizare a unui optim energetic, găsindu-și deci o largă utilizare în proiectarea noilor obiective industriale și în analiza, din punct de vedere energetic, a celor existente.

Bibliografie

[1] Hațiegan, T. D. *Metodologie de întocmire a studiilor de raționalizare a consumului de energie electrică.* Comunicare la simpozionul „Tehnici și tehnologii noi în industria minieră", Institutul de Mine Petroșani, 10—11 dec. 1976

[2] Smirnov, V. *Cours de mathématiques supérieurs.* Editions MIR, Moscou, 1976.

(Primit la 18 august 1988, acceptat la 22 noiembrie 1988)

Cu privire la estimarea tranzitului total de sarcină W_S

Prof. dr. ing. PAVEL BUHUȘ, ș. l. dr. ing. GHEORGHE COMĂNESCU *

Descriptori: energie, putere

CZ: 621.3.016.44 + 621.3.01.45 : 621.3.016.2

Dimensionarea și exploatarea instalațiilor electroenergetice se face în funcție de tranzitul total de sarcină W_S care trebuie să cuprindă atît tranzitul de energie activă W_P, cît și tranzitul de energie reactivă W_Q.

Se demonstrează o relație de calcul al acestui tranzit total W_S care conduce la rezultate suficient de exacte pentru calculele inginerești.

The dimensioning and operation of power equipment is based on the total load transit W_S consisting in the active power transit W_P and the reactive power transit W_Q.

A calculation relation for this total transit W_S is demonstrated. It provides precise results helpful for engineering computations.

1. Prezentarea problemei

Fie un punct al unei instalații electroenergetice cu funcționare sinusoidală prin care, într-un interval de timp t_j, sînt tranzitate puterea activă P_j, puterea reactivă Q_j și, respectiv, puterea aparentă:

$$S_j = \sqrt{P_j^2 + Q_j^2}. \qquad (1)$$

Fie N astfel de intervale t_j care pot avea durate diferite și care se caracterizează prin constanța în lungul fiecărui interval a puterilor P_j, Q_j și S_j tranzitate.

Energia activă W_p tranzitată în timpul tuturor celor N intervale de timp poate fi sau măsurată cu un contor sau calculată cu relația:

$$W_p = \sum_j^N P_j t_j. \qquad (2)$$

Dacă se dispune de graficul evoluției în timp a sarcinilor P_j, suprafața cuprinsă între acest grafic și axele sale de coordonate este proporțională cu energia activă W_p, respectiv cu numărul de kilowați-oră tranzitați în intervalul de timp considerat.

Similar, suprafața cuprinsă între graficul de desfășurare în timp a puterilor reactive Q_j și axele sale de coordonate este proporțională cu energia reactivă:

$$W_Q = \sum_j^N Q_j t_j \quad , \qquad (3)$$

respectiv cu numărul de kilovați-oră tranzitați în intervalul considerat.

Prin analogie cu interpretările grafice de mai sus, suprafața dintre graficul evoluției în

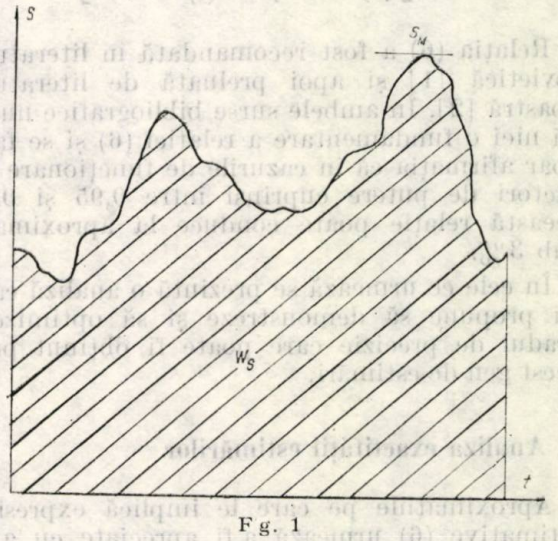


Fig. 1

timp a puterilor aparente S_j și axele sale de coordonate este proporțională cu mărimea pe care convenim s-o notăm prin:

$$W_S = \sum_j^N S_j t_j = \sum_j^N (P_j^2 + Q_j^2)^{\frac{1}{2}} t_j, \qquad (4)$$

respectiv cu numărul de kilovoltamperioră tranzitați în intervalul considerat. În figura 1 această suprafață este hașurată. Cunoscîndu-l pe W_S poate fi apoi determinată mărimea unuia dintre cei mai importanți indicatori pentru proiectarea și exploatarea instalațiilor electroener-

* Prof. dr. ing. Pavel Buhuș, ș. l. dr. ing. Gheorghe Comănescu — Facultatea de Electrotehnică și Energetică, Institutul Politehnic, București.

getice. Acesta este „timpul T_{SM} de utilizare a sarcinii maxime de durată S" corespunzător intervalului calendaristic pentru care este cunoscută mărimea lui W_S:

$$T_{SM} = \frac{W_S}{S_M} . \qquad (5)$$

Relațiile (4) nu sînt potrivite pentru determinarea valorilor lui W_S nici în proiectare și nici pentru postcalculul indicatorilor din perioadele precedente de exploatare. În consecință, în cele ce urmează se va analiza posibilitatea estimării lui W_S în condițiile în care se dispune doar de valorile energiilor W_P și W_Q tranzitate. Valoarea astfel aproximată reprezintă o *subestimare a lui* W_S și se va nota prin:

$$W_{Sest} = (W_P^2 + W_Q^2)^{\frac{1}{2}} . \qquad (6\,a)$$

Dacă se mai au în vedere relațiile (2) și (3), relația de estimare devine:

$$W_{Sest} = \left[\left(\sum_j^N P_j t_j\right)^2 + \left(\sum_j^N Q_j t_j\right)^2\right]^{\frac{1}{2}} . \qquad (6\,b)$$

Relația (6) a fost recomandată în literatura sovietică [1] și apoi preluată de literatura noastră [2]. În ambele surse bibliografice nu se dă nici o fundamentare a relației (6) și se face doar afirmația că în cazurile de funcționare cu factori de putere cuprinși între 0,95 și 0,60 această relație poate conduce la aproximații sub 3%.

În cele ce urmează se prezintă o analiză care își propune să demonstreze și să optimizeze gradul de precizie care poate fi obținut prin acest gen de estimări.

2. Analiza exactității estimărilor

Aproximațiile pe care le implică expresiile estimative (6) urmează a fi apreciate cu ajutorul figurii 2. Etapele în care a fost construită această figură sînt enumerate în continuare.

Conform relației (1), în coordonatele W_P și W_Q ale figurii au fost reprezentate pe rînd, la scară, toate cele N segmente proporționale cu valorile $W_{sj} = S_j t_j$. Numerotarea și, respectiv, reprezentarea segmentelor S_j t_j s-a făcut în ordinea crescătoare a decalajelor:

$$\varphi_j = \operatorname{arctg}\frac{Q_j}{P_j} = \operatorname{arctg}\frac{W_{Qj}}{W_{Pj}} . \qquad (7)$$

Astfel, prin S_1 a fost notată puterea aparentă cu decalajul minim φ_m și prin S_N s-a notat puterea cu decalajul maxim φ_M. Conform relației (4) suma lungimilor celor N segmente — pe care o vom nota prin $A_0\,A_j\,A_N$ — corespunde la scară valorii exacte W_S.

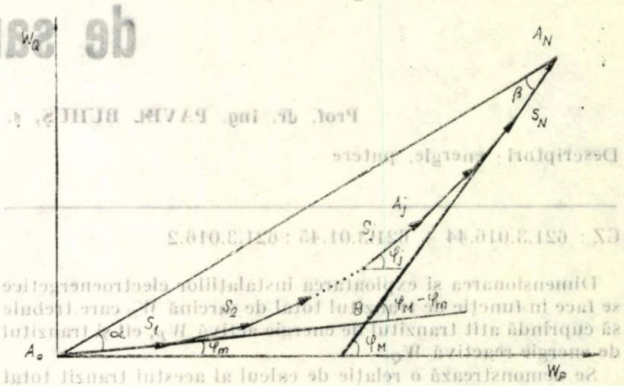


Fig. 2

Segmentul $A_0\,A_N$ corespunde la aceeași scară valorii estimative W_{Sest}. Se observă ușor că W_{Sest} *reprezintă o subestimare* a valorii exacte W_S.

Prelungind segmentele de la extremitățile lui W_S, acestea se intersectează în punctul B sub un unghi egal cu diferența decalajelor limită $\varphi_M - \varphi_m$. Suma lungimilor A_0B și BA_N reprezintă la aceeași scară limita superioară $W_{S\,sup}$ la care ar putea ajunge valoarea exactă a lui W_S în ipoteza că întreaga funcționare ar decurge doar la cele două decalaje extreme.

În continuare, se poate observa că

$$A_0\,A_N \leqslant A_0\,A_j\,A_N \leqslant A_0B + BA_N \qquad (7\,a)$$

și deci, conform interpretărilor prezentate mai sus:

$$W_{Sest} \leqslant W_S \leqslant W_{S\,sup} . \qquad (7\,b)$$

De regulă, în practică nu dispunem de suficiente elemente pentru a cunoaște suma lungimilor celor N segmente corespunzătoare valorii exacte W_S. Ca urmare, mărimea estimativă W_{Sest} va fi comparată cu limita superioară $W_{S\,sup}$ prin raportul:

$$\frac{W_{Sest}}{W_{S\,sup}} = \frac{A_0A_N}{A_0B + BA_N} . \qquad (8)$$

Aplicînd teorema sinusurilor în triunghiul ABC:

$$\frac{A_0B}{\sin\beta} = \frac{BA_N}{\sin\alpha} = \frac{A_0A_N}{\sin(\varphi_M - \varphi_m)} , \qquad (9)$$

de unde:

$$A_0B + BA_N = A_0\,A_N \frac{(\sin\beta + \sin\alpha)}{\sin(\varphi_M - \varphi_m)} . \qquad (10)$$

Prin urmare, relația (8) devine :

$$\frac{W_{Sest}}{W_{S\,sup}} = \frac{A_0 A_N}{A_0 A_N \dfrac{\sin\dfrac{\beta+\alpha}{2}\cdot\cos\dfrac{\beta-\alpha}{2}}{\sin\dfrac{\varphi_M-\varphi_m}{2}\cdot\cos\dfrac{\varphi_M-\varphi_m}{2}}} \tag{11}$$

și deoarece

$$\beta + \alpha = \varphi_M - \varphi_m, \tag{12}$$

în final

$$\frac{W_{Sest}}{W_{Ssup}} = \frac{\cos\dfrac{\varphi_M-\varphi_m}{2}}{\cos\dfrac{\beta-\alpha}{2}}. \tag{13}$$

Conform relațiilor (7) raportul W_{Sest}/W_{Ssup} este întotdeauna subunitar. Acest raport își atinge valoarea minimă în cazul cînd cele două laturi ale triunghiului $A_0B = BA_N$ și deci unghiurile pe care aceste două laturi le fac cu A_0A_N sînt și ele egale. În acest caz — care pentru orice $(\varphi_M - \varphi_m)$ dat este cel mai defavorabil deoarece estimarea W_{Sest} ajunge minimă în raport cu limita superioară W_{Ssup} — relația (13) devine :

$$\left(\frac{W_{Sest}}{W_{S\,sup}}\right)_{def.} = \cos\frac{\varphi_M-\varphi_m}{2} \tag{14}$$

Tabelul 1

Valori extreme între care poate varia factorul de putere pentru ca în condițiile cele mai defavorabile diferențele dintre subestimările $W_{S\,est}$ calculate cu relația (6) și limita superioară $W_{S\,sup}$ să nu depășească valori de ordinul 3%, 6% și, respectiv, 10%

$\left(\frac{W_{S\,est}}{W_{S\,sup}}\right)_{def.}$	0,97	0,94	0,90
$\varphi_M + \varphi_m$ grade	28	40	52
cos φ_m	cos φ_M		
1,00	0,88	0,77	0,62
0,98	0,77	0,62	0,45
0,95	0,69	0,53	0,34
0,92	0,63	0,45	0,26
0,90	0,59	0,41	0,21

Conform datelor din tabelul 1, în ipoteza funcționării, de exemplu, cu factori de putere cuprinși între 0,95 și 0,53 estimările W_{Sest} calculate cu relația (6) pot fi mai mici față de limita superioară $W_{S\,sup}$ cu cel mult 6%.

Din tabelul 1 se mai observă că, în cazurile cînd duratele cumulate de funcționare cu factori de putere apropiați de unitate sînt practic neglijabile, cu relația (6) se pot obține estimări W_{Sest} tot mai apropiate de realitate. Astfel, pe măsură ce valorile factorului maxim cos φ_m se depărtează de unitate, pentru un același ecart de variație a factorului de putere se pot obține diferențe procentuale tot mai reduse între valoarea estimativă W_{Sest} și limita superioară W_{Ssup}. Respectiv, estimări cu o aceeași diferență procentuală pot fi obținute în condițiile unor tot mai extinse domenii admisibile pentru variația factorului de putere.

Concluzii

Pe baza analizei de mai sus se propune o optimizare a relației (6) pentru estimarea lui W_S și anume :

$$W_{Sest} = 1{,}03\sqrt{W_P^2 + W_Q^2}. \tag{15}$$

Tabelul 2

Domenii pentru care diferențele dintre estimările cu relația (15) $W_{S\,est}$ și valorile reale W_S nu depășesc ±3%

cos φ_m	cos φ_M
1,00	0,75
0,98	0,60
0,95	0,50
0,92	0,45
0,90	0,40

După cum se poate observa din tabelul 2, în majoritatea cazurilor practice estimările cu relația (15) propusă vor diferi față de realitate cu mai puțin de ±3%.

Bibliografie

[1] Valabrinskii, S. D. *Ob otenke velicini poteri energhii v electriceskih setiah.* In : Electricestvo, nr. 2, 1968, p. 53–55.

[2] Bercovici, M., Arie, A., Poeată, Al. *Rețele electrice. Calculul electric.* București, Editura Tehnică, 1978.

(Primit la 13 octombrie 1988, acceptat la 11 ianuarie 1989)

Potențialul hidroenergetic din județul Botoșani și posibilitățile de valorificare

Ing. NICOLAE ȘOREA, ing. PETRU DÂRVASĂ, ing. MARIA ȘOREA, ing. IONEL POPA, tehn. LEOPOLD HRUSTOVICI*

Descriptori: potențial hidroenergetic

CZ.: 621.311.21.004.1

Analizînd posibilitățile de folosire a potențialului hidroenergetic din județul Botoșani se constată că amenajările care se pot face sînt legate mai mult de lucrări realizate de alți beneficiari (acumulări de apă, alimentări cu apă, irigații) decît cele pentru scopuri pur energetice.

Acest fapt impune realizarea unor tipuri de MHC și CHEMP grefate pe alte instalații care stochează sau vehiculează cantități însemnate de apă.

Cele mai importante amenajări din planul de lucrări al IRE Botoșani sînt CHEMP Bucecea I și II pe aducțiune de apă din Siret în rîul Sitna. Lucrarea este în curs de întocmire a documentației. Celelalte MHC sau CHEMP vor fi realizate pe sistemele de irigații sau alimentările cu apă. Lucrările hidrotehnice de pe Siret și Prut aparțin C. N. Apelor, iar documentațiile se realizează de către ISPSI și ICPGA București.

The analysis of the hydropower potential harnessing possibilities in the Botoșani district shows that the works to be carried out are connected mainly to already existing works of other users (water storages, water supplies, irrigations), not to those with energetic uses.

This fact requires that microhydropower plants and high power hydropower plants should be incorporated in the works which store or vehiculate water quantities.

The most important works of the Electric Grids Enterprise Botoșani are the high power hydroelectric plants Bucecea I and II based on water transit from the Siret river to the Sitna river. These works are at present in the stage of documentation setting up. The other microhydropower plants and high power hydroelectric plants will be built in conjunction with the irrigation or water supply system.

Date generale

Județul Botoșani are un relief vălurat, cu interfluvii colinare și deluroase, dezvoltate pe depozite miceene, și paralele, orientate NV — SE, separate prin văi cu lunci largi și pline de iazuri, cu altitudini ale reliefului ce variază între 60 și 500 m.

Rețeaua hidrografică a județului are o densitate medie de 0,4—0,6 km/km^2. Apele curgătoare au majoritatea direcția de scurgere NV — SE. Debitul cursurilor de apă se află sub directa influență a condițiilor climatice. Volumul maxim al scurgerii din timpul anului se înregistrează în perioada de primăvară, cînd pe lîngă ploi are loc și topirea zăpezilor. Toamna și iarna scurgerile de apă au valorile cele mai scăzute. La viituri apele transportă mari cantități de aluviuni în suspensie și tîrîte.

O caracteristică hidrografică importantă specifică județului o constituie iazurile și acumulările de pe cursurile de apă. Cele peste 150 de iazuri au o suprafață de 3600 ha și un volum de apă de peste 55 milioane m^3 și sînt localizate în majoritatea lor în Cîmpia Moldovei. Iazurile și lacurile de acumulare sînt bazine piscicole cu rol important și pentru irigații, precum și pentru atenuarea viiturilor de pe cursurile respective. Cel mai mare iaz din podișul Moldovei este Dracșani cu o suprafață de circa 500 ha și o importantă producție de pește.

1. Potențialul hidroenergetic

Cursurile de apă, chiar și cele mai importante (Siretul și Prutul), au pante și debite relativ mici, dispunînd de un potențial hidroenergetic redus. Rîul Siret are un potențial mediu de circa 140 kW/km, iar rîul Prut de circa 65 kW/km. Celelalte cursuri de apă, afluenți ai Siretului și Prutului, au un potențial sub 50 kW/km.

Datorită caracteristicilor hidrologice deosebite ale cursurilor de apă și cerințelor de apă din județ s-a impus prevederea, proiectarea, amenajarea și exploatarea pe Siret și Prut a unor acumulări pentru regularizarea debitelor. Amenajarea potențialului se justifică în acest caz ca o folosință subordonată în cadrul nodurilor hidrotehnice pentru folosințele complexe.

În schema cadru de amenajare a Consiliului Național al Apelor s-a prevăzut :

1. Pe rîul Prut, pe teritoriul județului Botoșani, șase acumulări cu $V_{br} = 1132$ milioane m^3, din care $V_e = 246$ milioane m^3 pentru partea română. Pe aceste acumulări sînt prevăzute șase CHE cu $P_i = 38$ MW și o energie totală de $E_m = 126{,}2$ milioane kWh/an. Din cele șase acumulări s-a realizat în zona Stînca-Costești, în colaborare cu U.R.S.S., un important nod hidrotehnic de circa 6000 ha și o lungime de circa 76 km. Din această acumulare se asigură apa necesară pentru alimentarea cu apă potabilă, industrială și pentru irigații în Cîmpia Moldovei, avînd, în același timp, și rolul de a regulariza debitele rîului Prut în aval, protejînd de inundații mii de hectare de teren agricol. Centrala hidroelectrică are o putere instalată $P_i = 16$ MW și $E_m = 656$ GWh/an. Tot la Stînca, județul Botoșani, există în probe o CHEMP cu o putere instalată $P_i = 1{,}2$ MW.

2. Pe rîul Siret, pentru a rezolva necesitățile de apă ale localităților și irigațiilor din

*Ing. Nicolae Șorea, ing. Pertu Dârvasă, sing. Maria Șorea, ing. Ionel Popa, tehn. Leopold Hrustovici — IRE Botoșani

cadrul județului Botoșani, s-a prevăzut o cascadă cu trei lacuri, din care cel din nodul hidrotehnic Bucecea cu un volum util de 8 milioane m³ este în exploatare ; CHE Bucecea are $P_i = 1{,}18$ MW și $E_m = 4{,}26$ GWh/an. Acumularea Rogojești (pe sectorul Siret, în aval de frontieră) cu un volum util de circa 26 milioane m³ este în faza finală de montaj (o parte din centrală este pusă în funcțiune), cu $P_i = 3{,}2$ MW și $E_m = 9{,}1$ GWh/an.
Între aceste două acumulări, în fază de organizare de șantiere, este noua acumulare Vîrfu Cîmpului, cu o putere instalată de $P_i = 4$ MW.

2. Potențialul microhidroenergetic

În baza studiului Consiliului Național al Apelor nr. 214/1974, NPH/1983 și a diagramelor orientative de alegere a microhidrocentralelor și CHEMP s-au analizat bazinele hidrografice ale rîurilor mici, afluenți ai Siretului și Prutului.

La începutul anului 1986 s-a întocmit un studiu comun de către Atelierele de Proiectare ale IRE Botoșani și IEELIF Botoșani, din care rezultă că în prezent există în funcțiune două microhidrocentrale : una pe acumularea Hănești, avînd $P_i = 4$ kW și alta pe acumularea Drăcșani cu $P_i = 48{,}7$ kW putînd produce anual $E_m = 0{,}154$ GWh la un preț de cost de 0,34 lei/kWh. Ambele microhidrocentrale au aducțiunea realizată cu o conductă peste barajul acumulării tip sifon.

Din analizele făcute anterior a rezultat că este posibilă realizarea de MHC-uri pe acumulările existente : MHC Cal Alb, $P_i = 15{,}5$ kW ; MHC Negreni, $P_i = 15{,}55$ kW ; MHC Mileanca, $P_i = 8{,}38$ kW ; MHC Ibăneasa II, $P_i = 10{,}9$ kW ; MHC Cătămărăști, $P_i = 180$ kW. MHC-urile enumerate, cu excepția MHC Cătămărăști, sînt de interes local și se pot amenaja pe iazurile existente cu aducțiuni prin sifonare, care duc însă la complicate probleme de exploatare. Investiția specifică pentru primele patru MHC-uri variază între 63—122 mii lei/kW, iar prețul de cost al energiei este cuprins între 0,53 și 0,81 lei/kWh.

Aceste MHC-uri nu intră în propunerile de realizare ale IRE Botoșani, datorită puterilor foarte mici, prețului de cost mare și datorită faptului că se află în locuri izolate, greu de întreținut, de exploatat și de asigurat paza.

Din analiza IJGCL pe conductele de alimentare cu apă există posibilități de realizare a nouă MHC-uri cu puteri instalate cuprinse între 7,3 și 68,5 kW. Pe conducta de aducțiune ce transportă apa captată din acumularea Bucecea la stația de tratare a apei Cătămărăști este construit un MHC cu $P_i = 180$ kW cu punere în funcțiune în anul 1988.
Cele mai mari posibilități de acumulare sînt la Bucecea, unde se pot realiza două CHEMP-uri. Amenajările sînt amplasate pe valea pîrîului Bărbălăteni, afluent de stînga al rîului Sitna, cu captarea prin priză tiroleză. Debitul instalat $Q_i = 3$ m³/s pentru fiecare centrală.

CHEMP Bucecea 1 are o putere instalată $P_i = 646$ kW, produce o energie anuală de $E_p = 824\,114$ kWh/an cu o investiție specifică $I_{sp} = 19{,}60$ lei/kWh cu un preț de cost $P_c = 0{,}46$ lei. CHEMP Bucecea 2 are o putere instalată de $P_i = 694$ kW, produce o energie anuală de $E_p = 881\,681$ kWh/an, cu o investiție specifică $I_{sp} = 20{,}95$ lei/kWh, cu un preț de cost $P_i = 0{,}46$ lei. Acestea sînt în faza finală de proiectare, iar în cursul anului 1989 se va trece la începerea lucrărilor.

În județ există, și continuă să se dezvolte, instalații pentru irigații, din care multe au conducte de aducțiune a apei cu debite mari și presiuni disponibile importante, sau necesită chiar instalații de rupere a presiunii. Aceste condiții creează posibilități de amenajare a mai multor MHC-uri și CHEMP-uri pe sistemul de irigații. În cadrul proiectului Amenajarea hidroameliorativă complexă pe Terasa Dorohoi-Jijia-Bașeu județul Botoșani ce se elaborează de către ISPIF București se prevăd lucrări de îmbunătățiri funciare, în principal de irigații pentru o suprafață de 25 000 ha.

Avînd în vedere diferența de nivel între sursa de apă, cota cea mai înaltă a terenului irigat și cota aducțiunii, rezultă un disponibil energetic ce poate fi valorificat prin microhidrocentrale.

Aceste lucrări urmează a fi amplasate pe canalele de irigații în punctele de racordare la sifoane (conducte), precum și acolo unde configurația terenului impune coborîrea nivelului apei.

Amplasarea CHEMP și MHC în cadrul sistemului de irigații Dorohoi-Jijia cuprinde trei variante, din care :

— în varianta întîi sînt 10 MHC și CHEMP avînd o energie medie după un calcul estimativ $E_m = 1903$ MWh/an, ținînd cont că ele funcționează numai în perioada irigațiilor;

— în varianta II sînt 11 MHC și CHEMP cu o energie medie $E_m = 2378$ MWh/an ;

— în varianta trei sînt opt MHC și CHEMP cu o energie medie $E_m = 4569$ MWh/an.

Alegerea variantei optime depinde de mulți factori care concură la alegerea soluției finale pentru sistemul de irigații.

Bibliografie

[1] Prișcu, R. *Construcții hidrotehnice*. Ed. Didactică și Pedagogică, București, 1980.
[2] Mateescu, C. *Hidraulica*. Ed. Didactică și Pedagogică, București, 1967.
[3] Pavel, D. *Mașini hidraulice*. Ed. Didactică și Pedagogică, București, 1974.
[4] Spiridon, D. *Metode pentru determinarea potențialului hidroenergetic de suprafață al R.S.R.* Ed. Didactică și Pedagogică, București, 1974.
[5] Sorea, M. IRE Botoșani *Lucrarea 705/1987 — Studiu privind determinarea investițiilor necesare pentru utilizarea potențialului hidrologic din județul Botoșani.*
[6] PE 301/73. *Regulament de exploatare a instalațiilor de turbine hidraulice*. ICEMENERG, București, 1987.
[7] PE 302/74. *Regulament de exploatare tehnică a construcțiilor hidrotehnice și echipamentelor hidromecanice ale centralelor electrice*. ICEMENERG, București, 1987.
[8] PE 303/78. *Terminologie în domeniul amenajărilor hidroenergetice*. ICEMENERG, București, 1987.

(Primit la 18 august 1988, acceptat la 20 octombrie 1988)

Posibilități de creștere a economicității transportului de energie electrică prin compactizarea liniilor

Prof. dr. ing. DORIN CRISTESCU, ș. l. dr. ing. SORIN COATU *

Descriptori: linii electrice, energie electrică

CZ : 621.315.1 : 621.3.05

În lucrare se analizează posibilitățile de sporire a eficienței economice a transportului de energie electrică prin compactizarea liniilor electrice aeriene (LEA) de tensiune înaltă, pe lîngă cheltuielile de investiție și de exploatare avîndu-se în vedere și aspectele privind siguranța în funcționare, impactul asupra mediului, posibilitățile tehnice și tehnologice disponibile, inclusiv lucrul sub tensiune.

Din analiza diferitelor soluții de principiu privind compactizarea LEA — blocarea poziției conductorului în dreptul stîlpului, cu păstrarea structurilor metalice și izolante clasice ale acestuia ; utilizarea unor sisteme polifazate de tensiuni ; suspendarea neconvențională a conductoarelor, prin utilizarea consolelor izolante sau a unor geometrii noi de dispunere a conductoarelor, ținînd cont de posibilitățile tehnice actuale, se optează pentru prima din aceste soluții.

În acest sens, se prezintă rezultatele preliminare privind compactizarea LEA 400 kV, dublu circuit, din România, cu așezarea fazelor în triunghi, distanța medie geometrică fiind de 7,6 m, față de 10,8 m la LEA actuale.

In the paper are analised the possibilities to increase the efficiency of electrical energy transmission by means of high voltage lines compaction.

Aside from the investment and maintenance costs are regarded the failure risk, environment aspects, technical and technology problems, including the live line maintenance activity.

Analising the different possibilities regarding the compaction of H.V. transmission lines — fixing the phase conductors at lower level and conserving the classical tower and insulation solutions ; polyphase transmission systems ; unconventional conductor suspension using insulating crossarms or new conductor arrangements — and considering the nowadays technical facilities, the first solution was selected.

Preliminary results regarding the compaction of Romanian 400 kV, double circuit, transmission lines, with triangle phase conductors arrangement are presented ; the mean geometrical distance between phase conductors results 7,6 m versus 10,8 m for the classical configuration.

Introducere

Optimizarea rețelelor electrice include și reducerea costului liniilor electrice aeriene de înaltă tensiune într-o accepțiune mai largă, înglobînd, în afara cheltuielilor de investiție și aspecte legate de siguranța în funcționare, cheltuielile de exploatare și impactul asupra mediului.

O analiză a soluțiilor aplicate sau aflate în faza de studiu pe plan mondial, privind reducerea cheltuielilor și creșterea capacității de transport al energiei electrice, evidențiază faptul că soluția cea mai indicată, în condițiile din țara noastră, constă în compactizarea liniilor.

Propunerea unei soluții de stîlp compact pentru liniile dublu circuit de 400 kV trebuie să țină cont de considerentele obișnuite, privind nivelul de izolație al liniilor, acțiunea factorilor meteorologici, comportarea la scurtcircuit, cît și de aspectele privind pierderile prin descărcarea corona, perturbațiile de înaltă frecvență, cîmpul electric la sol, posibilitățile de lucru sub tensiune etc.

1. Problema creșterii capacității de transport la liniile de înaltă tensiune alternativă

Dezvoltarea intensă a rețelelor electrice a impus creșterea eficacității căilor de transport, în sensul transportării unor puteri cît mai mari, în condiții economice cît mai bune și al reducerii impactului asupra mediului. În acest mod a apărut conceptul de linii cu gabarite reduse sau „linii compacte". Reducerea substanțială a distanțelor între faze, în raport cu structurile tradiționale, reducere care se poate opera la toate tensiunile nominale, de la 20 kV la 750 kV, are drept efect imediat micșorarea impedanțelor caracteristice prin creșterea capacităților electrice și deci creșterea puterilor naturale ($P_n = U_n^2/Z_c$), adică a capacităților de transport.

Pentru realizarea acestui deziderat cercetările s-au desfășurat în mai multe direcții, și anume :

— reducerea gabaritelor liniilor electrice de curent alternativ trifazat, în condițiile utilizării structurilor metalice și izolante clasice ;

— utilizarea sistemelor de transport hexafazat sau dodecafazat ;

— realizarea suspendării în mod neconvențional a conductoarelor, fără console sau grinzi orizontale metalice.

Se apreciază că în actualul stadiu de dezvoltare a tehnicii, soluții de genul folosirea ghidurilor de undă, transportul prin microunde, folosirea proprietăților criogenice și altele nu sînt încă competitive tehnico-economic.

1.1. Folosirea structurilor metalice și izolante clasice

Dimensiunile liniilor de transport pot fi reduse și în consecință crescută capacitatea de

* Prof. dr. ing. Dorin Cristescu, ș. l. dr. ing. Sorin Coatu — Facultatea de Electrotehnică și Energetică, Institutul Politehnic, București.

transport, blocînd sau controlînd deplasările punctului de prindere a conductorului de lanţul de izolatoare. În figura 1 *a* este prezentată

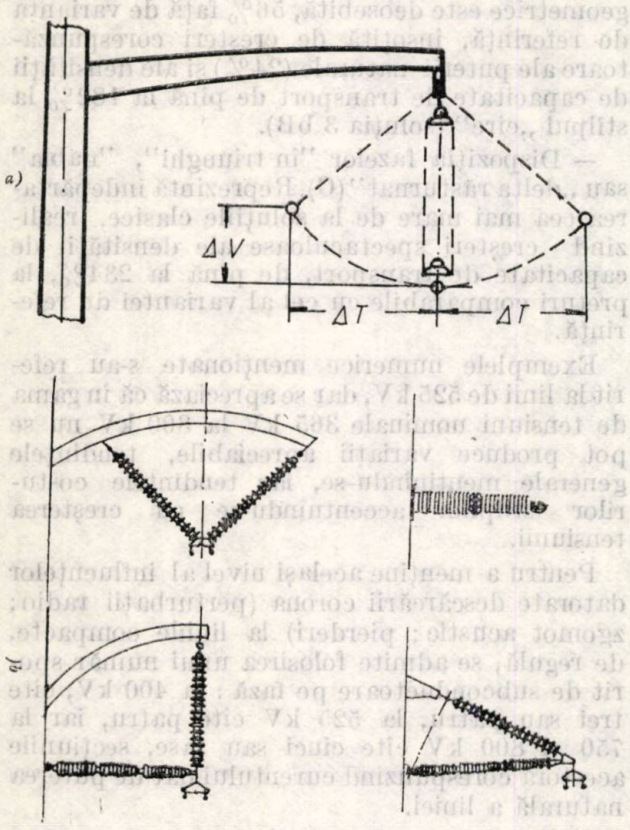


Fig. 1. Diverse modalităţi de suspendare a conductorului cu lanţ vertical (a) şi cu posibilităţi de blocare a deplasării punctului de prindere (b).

o suspensie clasică, folosind lanţ de izolatoare vertical cu două grade de libertate ale punctului de prindere. Sub acţiunea presiunii vîntului pe suprafaţa laterală a conductoarelor şi a lanţului de izolatoare clema de susţinere se deplasează în plan orizontal cu $\pm \Delta T$ şi cu ΔV în plan vertical. Aceste deplasări influenţează dimensiunile stîlpului şi lungimea consolei, ca şi lărgimea culoarului de trecere (a se vedea în fig. 3 accepţia uzuală de culoar, respectiv de două ori îndepărtarea conductorului bătut de vînt, în punctul de săgeată maximă, faţă de axa liniei, plus două distanţe izolante de protecţie).

Blocarea poziţiei punctului de prindere a fazei reduce lungimea consolei cu $\pm \Delta T$ şi lăţimea culoarului liniei cu 2 ΔT. Este de asemenea posibilă o micşorare a înălţimii stîlpului cu cîte un ΔV pentru fiecare fază dispusă pe verticală. Utilizarea acestei posibilităţii de reducere depinde de abilitatea conceperii ansamblului izolaţiei. Reducerea distanţelor verticale, şi în consecinţă a înălţimii stîlpului, micşorează momentele solicitante ale structurii şi fundaţiei, ele putînd fi concepute mai uşoare şi mai ieftine.

Posibilităţile de blocare a deplasărilor punctului de prindere al conductorului sînt prezentate în figura 1 *b*. În principiu, soluţiile posibile sînt în număr de patru : folosirea lanţului de izolatoare în V ; utilizarea izolatorului suport ; blocarea deplasării orizontale cu o coloană izolantă ; înlocuirea consolei metalice cu o „consolă izolantă" această soluţie aducînd deja modificări în structura tradiţională a stîlpului.

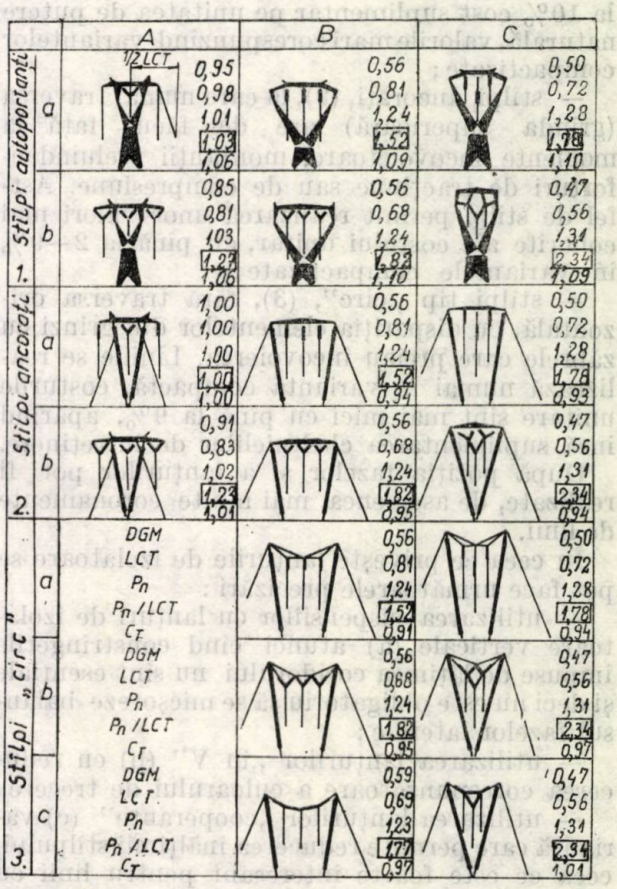


Fig. 2. Tipuri de stîlpi de susţinere şi comparaţia între diverse variante pentru : DGM — distanţa geometrică medie ; LCT — lărgimea coridorului de trecere ; P_n — puterea naturală ; P_n/LCT — densitatea de capacitate de transfer ; C_T — costul liniei pe MW din puterea naturală. (În figură valorile sînt date în ordinea de mai sus prin raportarea la valorile variantei 2Aa).

În ultimii ani s-au analizat şi realizat mai multe soluţii pentru liniile compacte. În cele ce urmează se prezintă o clasificare a mai multor soluţii de compactizare aplicabile liniilor cu tensiune mai mare de 400 kV, aceleaşi principii generale putînd fi însă avute în vedere şi pentru tensiuni nominale mai mici.

În figura 2 se prezintă o analiză comparativă pentru trei categorii de stîlpi de susţinere, relativă la capacitatea de transport, culoarul de trecere, densitatea de putere

(puterea transportată pe unitatea de lărgime de culoar), și cost, drept referință fiind luată varianta 2 Aa a stîlpului ancorat la care deja s-a operat o diminuare a dimensiunilor folosind suspensia „în V" pentru faza centrală, [3].

Tipurile de stîlpi se pot clasifica după cum urmează:

— stîlpi autoportanți, din grinzi cu zăbrele, (1), supuși la momente de încovoiere. Este o soluție curentă pentru liniile convenționale, dar totodată și o soluție mai costisitoare; în literatură se dau valori de ordinul a 6% pînă la 10% cost suplimentar pe unitatea de putere naturală, valorile mari corespunzînd variantelor compactizate;

— stîlpi ancorați, (2), la care numai traversa (grinda superioară) are de făcut față la momente încovoietoare, montanții preluînd eforturi de tracțiune sau de compresiune. Astfel de stîlpi permit realizarea unor valori mai coborîte ale costului unitar, cu pînă la 2—9% în variantele compactizate;

— stîlpi tip „circ", (3), fără traversa orizontală, cu dispariția elementelor din grinzi cu zăbrele care preiau încovoierea. Liniile se realizează numai în variantă compactă, costurile unitare sînt mai mici cu pînă la 9%, aparînd însă suplimentarea cheltuielilor de întreținere.

După poziția fazelor și a lanțurilor pot fi realizate, de asemenea, mai multe coronamente de linii.

În ceea ce privește lanțurile de izolatoare se pot face următoarele precizări:

— utilizarea suspensiilor cu lanțuri de izolatoare verticale (a) atunci cînd constrîngerile impuse de lățimea coridorului nu sînt esențiale și deci nu este obligatoriu să se micșoreze balansul fazelor laterale;

— utilizarea lanțurilor „în V" (b) cu reducerea corespunzătoare a culoarului de trecere;

— utilizarea lanțurilor „cooperante" (c) variantă care permite reducerea înălțimii stîlpului, ceea ce este foarte interesant pentru linii cu tensiuni peste 400 kV; în această variantă sînt însă necesare izolatoare care suportă sarcini statice mari.

Poziționarea reciprocă a fazelor influențează și ea gradul de compactizare și în consecință de creștere a capacității de transport.

— Dispoziția orizontală a fazelor cu montanți care separă fazele laterale de faza centrală, (A). Gradul de reducere a dimensiunilor depinde de tipul de stîlp, în varianta 1A b distanța medie geometrică fiind doar 85% comparativ cu varianta de referință (2 aA). În consecință densitatea de capacitate de transport (puterea naturală raportată la culoarul liniei) în această soluție este cu 27% mai mare. Pentru cercetările de nivel de izolație s-a optat pentru o soluție de tipul 2 bA, care permite o creștere a densității de capacitate de transport de 23%, în condițiile unui cost practic echivalent pentru linia simplu circuit.

— Dispoziția orizontală a fazelor fără montanți între faze (B). Reducerea distanței medii geometrice este deosebită, 56% față de varianta de referință, însoțită de creșteri corespunzătoare ale puterii naturale (24%) și ale densității de capacitate de transport de pînă la 182% la stîlpul „circ" (soluția 3 bB).

— Dispoziția fazelor "în triunghi", "nabla" sau „delta răsturnat" (C). Reprezintă îndepărtarea cea mai mare de la soluțiile clasice, realizînd creșteri spectaculoase ale densității de capacitate de transport, de pînă la 234%, la prețuri comparabile cu cel al variantei de referință.

Exemplele numerice menționate s-au referit la linii de 525 kV, dar se apreciază că în gama de tensiuni nominale 365 kV la 800 kV nu se pot produce variații apreciabile, tendințele generale menținîndu-se, iar tendințele costurilor stîlpilor accentuîndu-se cu creșterea tensiunii.

Pentru a menține același nivel al influențelor datorate descărcării corona (perturbații radio; zgomot acustic; pierderi) la liniile compacte, de regulă, se admite folosirea unui număr sporit de subconductoare pe fază: la 400 kV, cîte trei sau patru, la 525 kV cîte patru, iar la 750 și 800 kV cîte cinci sau șase, secțiunile acestora corespunzînd curentului dat de puterea naturală a liniei.

Problema apropierii fazelor sub acțiunea factorilor meteorologici nu este nici pe departe soluționată și analizată în același mod în numeroasele lucrări privind liniile compacte. În unele se acceptă, de exemplu, că apropierea fazelor se datorează unei presiuni a vîntului egală cu 1/8 din presiunea utilizată pentru a fixa distanța la limita culoarului de trecere (vezi fig. 2 sau fig. 3), această presiune acționînd numai asupra unei singure faze.

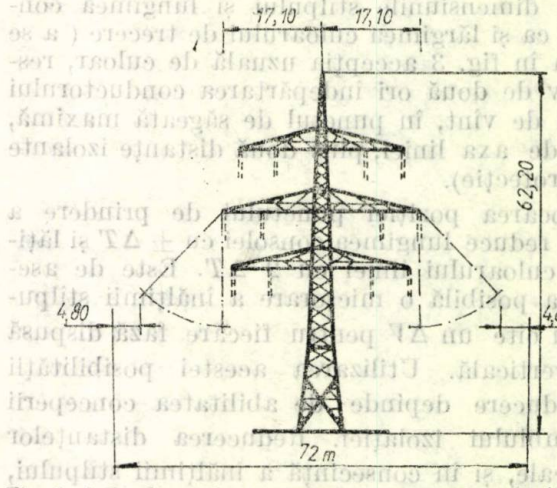


Fig. 3. Stîlp de susținere pentru patru circuite de 400 kV.

Pentru a verifica tensiunile de ținere ale distanței de aer fază-fază în această situație se folosește, la frecvența industrială, vîntul maxim acționînd o dată la 50 de ani, iar la supratensiunile de comutație vîntul cu o durată anuală de 100 ore. Este necesar pentru a permite o flexibilitate în plantarea stîlpilor în lungul traseului ca distanța între faze să fie determinată pentru deschideri cu 30% mai mari decît deschiderea medie. Opinia multor cercetători este că evaluarea corectă a îndepărtării fazelor este mai importantă pentru linii cu tensiuni mai joase decît pentru cele cu tensiuni mai ridicate, întrucît dimensionarea la supratensiuni de comutație devine prioritară.

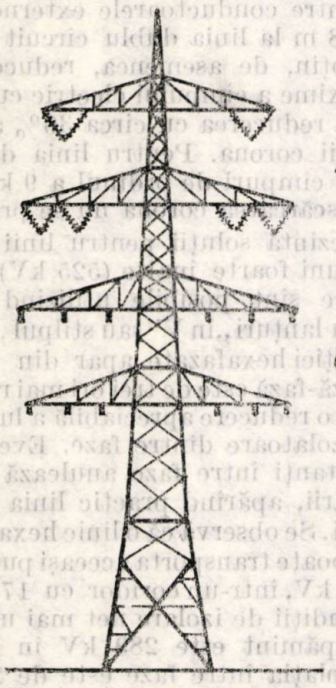


Fig. 4. Stîlp de susținere pentru opt circuite : două de 400 kV cu lanțuri „în V" și 6 de 110 kV cu lanțuri verticale.

O metodă mult folosită în unele țări, cum este R.F.G., spre exemplu, [4] constă în creșterea densității de putere transportată prin folosirea liniilor multicircuit, soluție care reprezintă o altă modalitate de a înțelege compactizarea.

În figura 3 se prezintă un stîlp pentru patru circuite de 400 kV, utilizînd lanțuri de suspensie verticale, iar în figura 4, un stîlp pentru șase circuite : 2 de 400 kV și 4 de 110 kV. Pentru reducerea dimensiunilor, ultima soluție folosește la 400 kV suspensia „în V".

Dispoziția circuitelor trebuie aleasă în așa fel încît să se ușureze distribuirea circuitelor individuale la punctele de racord, cu observația că liniile de tensiuni mai joase au derivări mult mai frecvente. În dimensionarea mecanică se preferă, la conductoare, adoptarea aceleiași săgeți, ca și condiții de balansare identice.

	Configurația fazelor	Conductor OL-AL – 265-35	Capacitate termică de transport MVA	Lărgim. culoarului [m]	Capacitate de transport Lărgime culoar	
1	2	3	4	5	6	7
Linia de distribuție					110 kV	
1.1	2×110 kV	○	260	44	6	100
		○—○	520	45	12	200
1.2	4×110 kV	○	520	60	9	150
		○—○	1040	64	16	270
1.3	4×110 kV	○	520	50	10	166
		○—○	1040	52	20	333
Linia de transport					400 kV	
2.1	2×400 kV		3370	63	55	100
2.2	4×400 kV		7540	102	74	135
2.3	4×400 kV			72	105	190
Linia de transport și de distribuție					400 kV + 110 kV	
3.1		110 kV		113	38	100
3.2	2×400 kV 2×110 kV	400 kV		84	51	134
3.3	2×400 kV 2×110 kV	400 kV 110 kV	4290	8	63	166

Fig. 5. Indici comparativi pentru linii multicircuit cu două — patru circuite de 110 kV și 400 kV.

Dimensionarea stîlpilor la sarcini longitudinale dezechilibrate, pentru liniile cu mai mult de două circuite se face, de regulă, numai la jumătate din sarcina uzuală pentru circuitele 3, 4, 5 și 6.

Nivelul de izolație se determină în funcție de configurația sistemului și de tensiunea de funcționare, iar secțiunea conductorului, prin capacitatea de transport și pierderi. Intensitatea cîmpului perturbator radio și al cîmpului electric la nivelul solului crește odată cu mărirea gradientului superficial al conductoarelor de pe consola inferioară. Pentru intensități ale cîmpului electric superficial de ordinul a 16 kV_{ef}/cm se caută limitarea la 45 $dB/\mu V/m$ (publicația 16 CISPR*), la 15 m de proiecția fazei laterale și pe timp frumos.

În figura 5 se prezintă o analiză comparativă a liniilor multicircuit de 110 kV cu două sau

* C.I.S.P.R. — Comitetul Internațional pentru Studiul Perturbațiilor (al Comisiei Electrotehnice Internaționale — C.E.I.).

patru circuite, de 400 kV cu două sau patru circuite și comune, 2 × 400 și 2 × 110 kV [4]. Astfel de soluții sînt deosebit de interesante pentru cazurile de restricții ale culoarului de trecere, motiv pentru care s-a luat ca bază de comparație capacitatea termică de transport și lărgimea culoarului (vezi fig. 3).

O problemă particulară la astfel de linii o ridică protecția contra loviturilor de trăsnet, din cauza înălțimii importante a stîlpilor (60—70 m). Se apreciază că circa 10% din trăsnete străpung ecranajul asigurat de conductorul de protecție și lovesc conductoarele active, practic în exclusivitate numai pe cele ale circuitelor superioare.

Un alt aspect deosebit pe care îl prezintă acest tip de linii constă în pericolul sporit de apariție a descărcărilor inverse pe izolațiile circuitelor de tensiune inferioară. Galopul conductoarelor, influențele reciproce cu liniile de alimentare a căilor ferate, acționările necoordonate ale protecțiilor diverselor circuite, din cauza strînsului cuplaj capacitiv sau inductiv sînt cîteva din problemele care trebuie cercetate la liniile multicircuit. Toate exemplele menționate la acest paragraf sînt totuși linii aflate în exploatare de mai mulți ani.

1.2. Utilizarea sistemului de transport hexafazat

În ultimul deceniu s-au făcut numeroase cercetări privind realizarea unor sisteme de transport cu mai mult de trei faze și în principiu ele au arătat fezabilitatea unor soluții hexa- sau dodecafazate, cu o capacitate de transport sporită, în condițiile unor pierderi mai mici [2, 7].

În figura 6 se prezintă comparativ dimensiunile unei linii trifazate de 500 kV, ale unei linii dublu circuit de 231 kV și ale unei linii hexafazate de 6 × 133 kV (tensiunea fază — pămînt), toate trei avînd aceeași capacitate de transport, și o linie dodecafazată (69 kV tensiune fază—fază) și 133 kV (fază—pămînt) cu o capacitate dublă de transport. Se remarcă dimensiunile deosebit de reduse ale liniilor cu fazare multiplă, distanța între conductoarele externe fiind 3 m, față de 18 m la linia dublu circuit echivalentă. Se obțin, de asemenea, reduceri ale intensității maxime a cîmpului electric cu 15%, ceea ce duce la reducerea cu circa 30% a efectelor descărcării corona. Pentru linia dodecafazată se obțin cîmpuri de ordinul a 9 kV/cm, deci practic descărcarea corona nu se produce.

Figura 7 prezintă soluții pentru linii hexafazate de tensiuni foarte înalte (525 kV). Realizările practice sînt posibile utilizînd stîlpi autoportanți cu lanțuri „în V" sau stîlpul „circ". Avantajele soluției hexafazate apar din faptul că tensiunea fază-fază este de trei ori mai redusă, ceea ce permite o reducere apreciabilă a lungimii lanțurilor de izolatoare dintre faze. Eventuale soluții cu montanți între faze anulează avantajele hexafazării, apărînd practic linia dublu circuit trifazată. Se observă că o linie hexafazată de 6 × 289 kV poate transporta aceeași putere ca și o linie de 800 kV, într-un coridor cu 17% mai îngust și în condiții de izolare net mai ușoare : izolația fază—pămînt este 289 kV în loc de 462 kV, iar izolația între faze este de 2,8 ori mai mică. Costul specific al transportului este însă net defavorabil folosirii unor soluții cu mai mult de trei faze, la tensiuni foarte înalte și pentru distanțe lungi.

Realizarea unor linii polifazate este însă competitivă pentru tensiuni fază—pămînt pînă la circa 150 kV.

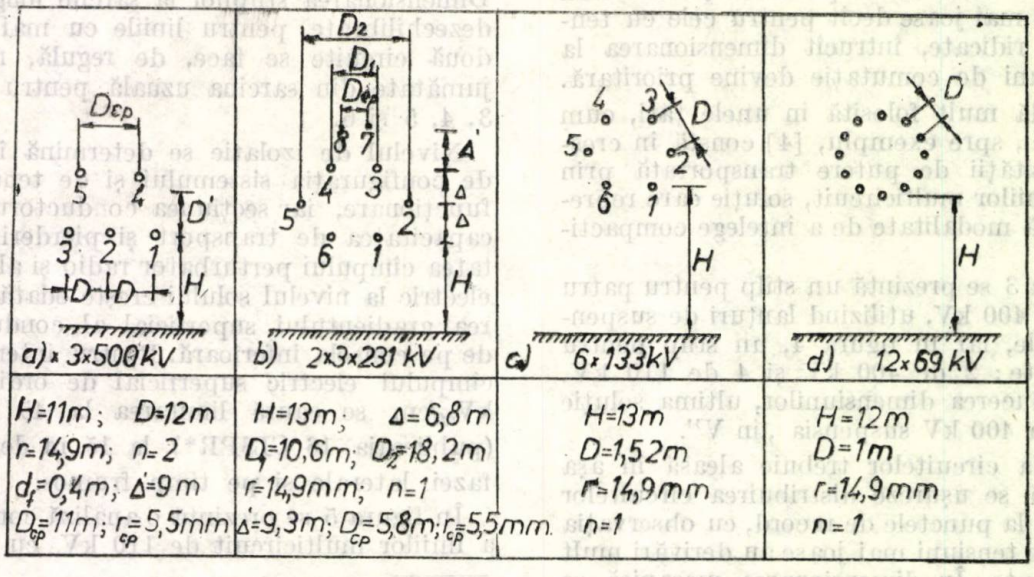
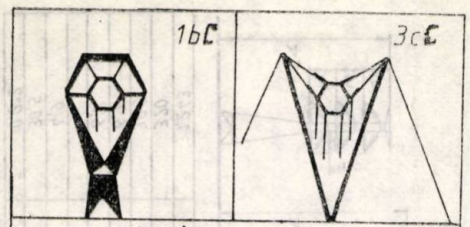


Fig. 6. Parametrii geometrici pentru linii cu aceeași capacitate de transport : trifazată, simplu circuit 500 kV (a) ; trifazată, dublu circuit 231 kV (b) ; hexafazată 6×133 kV, tensiune fază-pămînt și fază-fază (c) ; dodecafazată 12×69 kV tensiune fază-fază și 133 kV tensiune fază-pămînt, de capacitate de transport dublă (d).

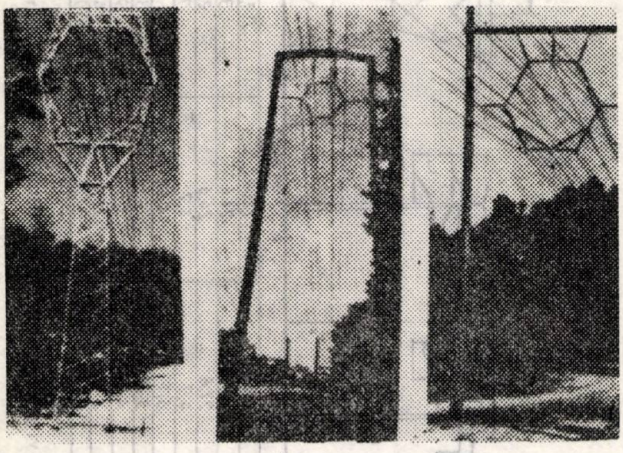


Valori în % față de ale unei linii trifazate.

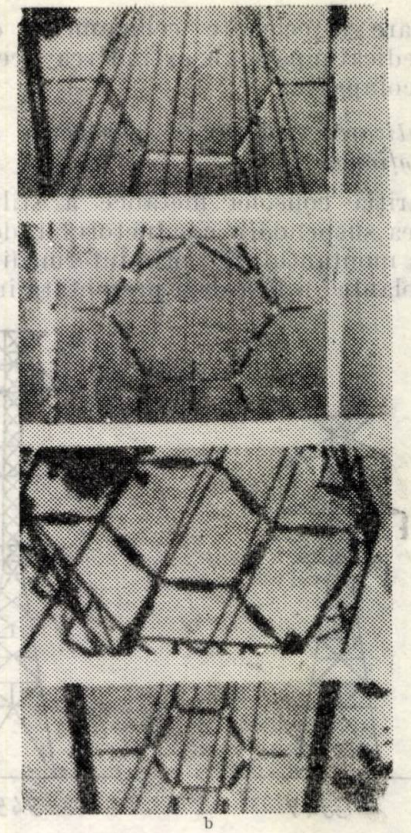
525 kV 1bC	800 kV 1bc		525 kV 3cC	800 kV 3cC
1,06	0,83	LCT	1,06	0,83
2,35	1,00	P_n	2,35	1,00
2,21	1,20	$\frac{P_n}{LCT}$	2,21	1,20
0,89	1,26	C_T	0,93	1,31

Fig. 7. Comparații între diverse tipuri de linii hexafazate 6 × 289 kV și linii trifazate de 525 — 800 kV. Soluții posibile pentru linii hexafazate de tensiuni foarte înalte: DGM — distanța geometrică medie; LCT — lărgimea coridorului de trecere; P_n / LCT — densitatea de capacitate de transfer; C_T — costul liniei pe MW din puterea naturală.

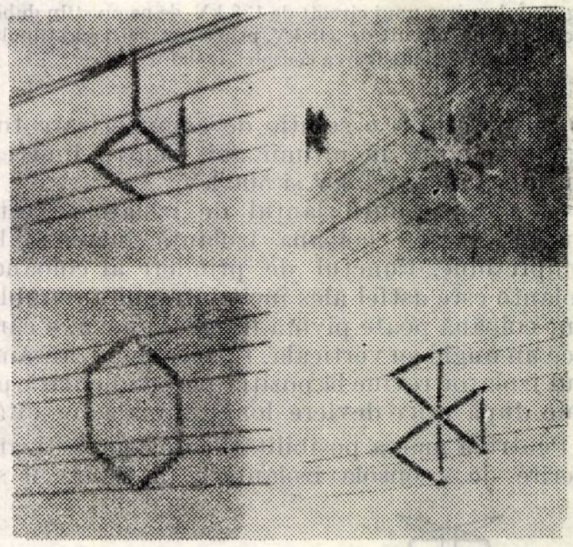
În figura 8 se prezintă cîteva realizări experimentale pe linii hexafazate, cu 80 kV tensiunea fază—pămînt sau fază—fază. Utilizarea izolatoarelor suport, cîte unul pentru fiecare



a



b



c

Fig. 8. Realizări de linii polifazate: a — vedere de ansamblu; b — coronamentul; c — distanțiere interfazice în deschidere (după [7]).

fază, duce la apariția unor eforturi importante în stîlpi, motiv pentru care soluția nu s-a răspîndit. S-a făcut apel la utilizarea unor izolatoare special concepute pentru astfel de linii, fie pentru o structură rigidă, fie pentru o structură articulată. Stîlpii prezentați în figura 8 au fost concepuți pentru o deschidere de 370 m, lățimea fiind de 4 m pentru linia hexafazată și de 6 m pentru linia dodecafazată și se pot executa fie din țeavă, fie din grinzi cu zăbrele sau din lemn. Pentru prevenirea descărcărilor electrice în mijlocul deschiderii, ca urmare a apropierii fazelor, la aceste linii se prevăd, la nevoie, distanțiere izolante, concepute în soluție articulată sau rigidă.

Studiile supratensiunilor fază-fază (există 15 tensiuni fază—fază la liniile hexafazate și 66 la cele dodecafazate) sînt de o complexitate deosebită. O serie de dificultăți legate de realizarea izolației, ca și probleme legate de trans-

formatoare și celelalte echipamente de capăt au împiedicat pînă acum extinderea acestui tip de linii compacte.

1.3. Realizarea modului de suspendare a fazelor neconvențional

Dispariția consolei metalice a stîlpului și realizarea suspendării conductorului, de stîlpul redus la montantul său, prin intermediul „consolei izolante" a fost deja prezentată în figura

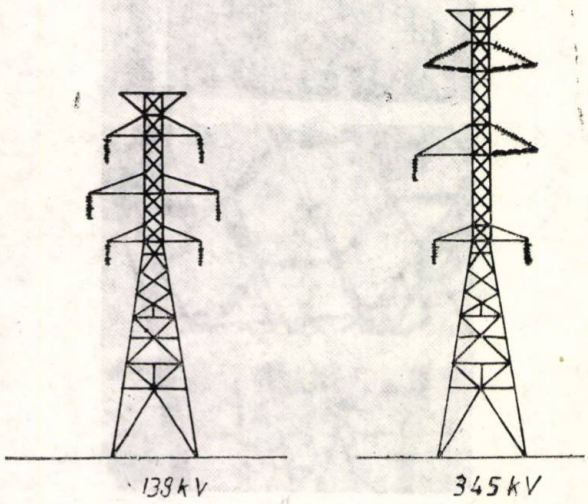


Fig. 9. Înlocuirea unui circuit de 138 kV de pe un stîlp dublu circuit cu un circuit de 345 kV, prin suprainălțarea stîlpului și utilizarea consolei izolante.

1*b* și reprezintă o soluție de compactizare tot mai răspîndită în ultimii ani, pentru linii cu tensiunea între 90 kV și 500 kV.

În aceste soluții lanțul de izolatoare este tensionat, iar coloana izolantă lucrează la compresiune. Punctul de prindere al coloanei izolante este astfel ales încît întregul ansamblu lanț-coloană poate pivota în jurul unei axe care face un unghi cu verticala. În acest mod, ansamblul izolator revine la poziția perpendiculară pe linie după orice deviere longitudinală fortuită.

Pentru a marca posibilitățile de compactizare oferite de „consola izolantă", în figura 9 se

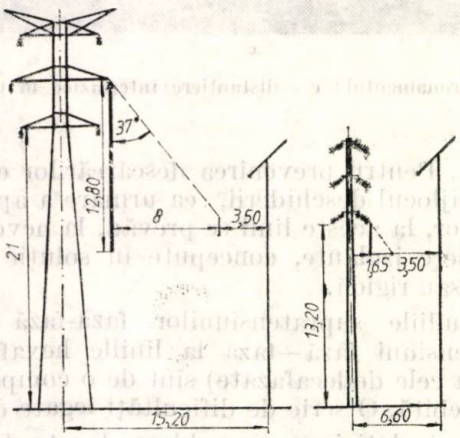
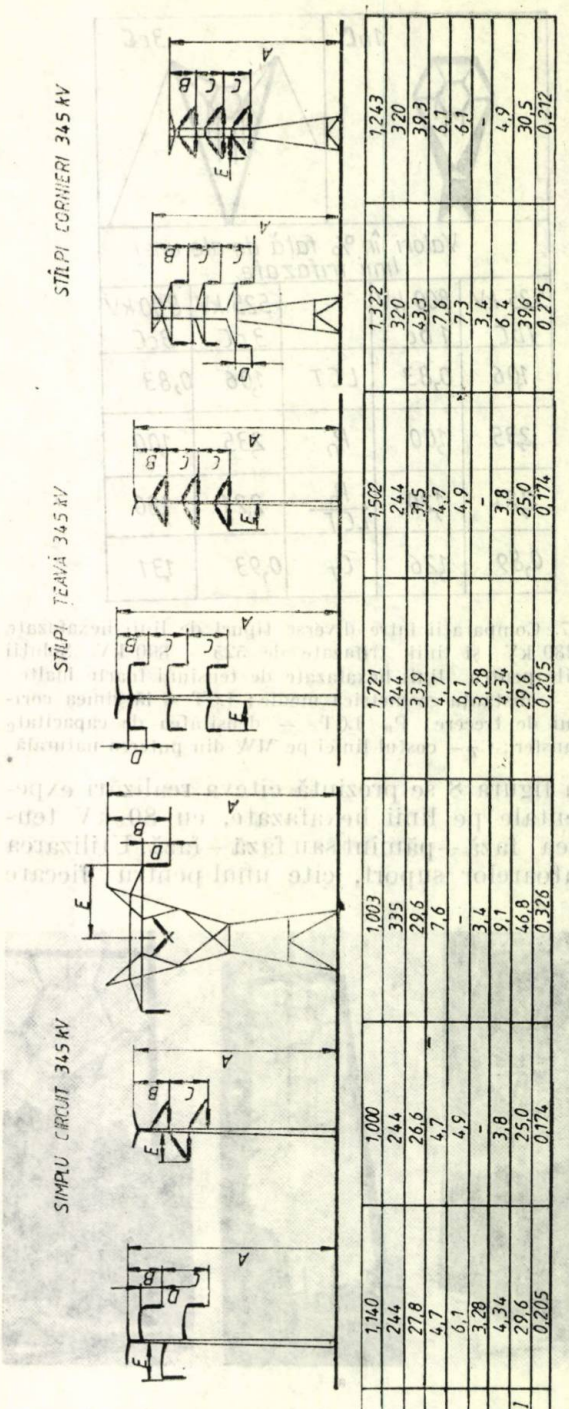


Fig. 10. Linie de 90 kV cu console izolante unice pe fază.



Indice de cost	1,140	1,000	1,003	1,721	1,502	1,322	1,243
Deschidere	244	244	335	244	244	320	320
A [m]	27,8	26,6	29,6	33,9	31,5	43,3	38,3
B [m]	4,7	4,7	7,6	4,7	4,7	7,6	6,1
C [m]	6,1	4,5	-	6,1	4,9	7,3	6,1
D [m]	3,28	-	3,4	3,28	-	3,4	-
E [m]	4,34	3,8	9,1	4,34	3,8	6,4	4,9
Lărgimea culoarului [m]	29,6	25,0	46,8	29,6	25,0	39,6	30,5
Cost pe metru de culoar	0,205	0,174	0,326	0,205	0,174	0,275	0,212

Fig. 11. Indici comparativi pentru linii clasice și linii cu console izolante, de 345 kV, simplu și dublu circuit, pe stîlpi din țeavă sau grinzi cu zăbrele (după [8]).

prezintă posibilitatea înlocuirii unuia din circuitele de 138 kV de pe un stîlp clasic, dublu circuit, cu un circuit de 345 kV, prin simplă suprainălțare și utilizarea soluției în cauză.

O variantă particulară o reprezintă soluția din figura 10, în care conductorul unei linii de 90 kV este susținut prin intermediul unei console izolante unice, articulată în jurul unei axe orizontale perpendiculară pe linie. Se folosesc izolatoare ceramice obișnuite, cu efortul nominal maxim în cap de suport, de 20—30 kN (Norma CEI — Publicația 273 din 1979). Pentru liniile cu aceste tensiuni se limitează deschiderea la 200 m, ceea ce permite adoptarea unei înălțimi maxime a stîlpului de 25 m. Cele două modificări permit o reducere a culoarului liniei foarte importantă, la numai 40%.

Din punct de vedere economic, îndesirea stîlpilor este compensată de simplitatea lor.

În figura 11 este prezentată o comparație detaliată a compactizării pe baza utilizării soluției consolei izolante, pentru linii de 345 kV simplu și dublu circuit, cu stîlpi din țeavă sau grinzi cu zăbrele. În aceste comparații nu s-a modificat distanța față de sol a conductorului inferior și deschiderea. Distanța față de stîlp se reduce de la 4,3 m la 3,8 m și distanța conductoarelor pe verticală de la 6,1 m la 4,9 m. Reducerile de culoar, de cost pe metru de culoar și creșterile de capacitate de transport par a arăta că aceste soluții reprezintă o varianță de interes. La aceasta trebuie să se adauge și diminuarea suprafeței de teren agricol cu 0,3 ha/km, chiar față de soluțiile utilizînd lanțuri „în V" (după norma S.U.A.).

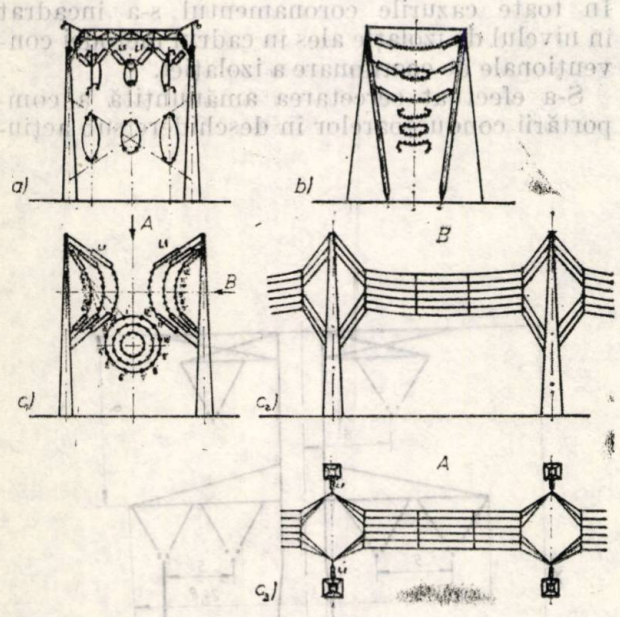


Fig. 12. Soluții neconvenționale de linii simplu circuit de foarte înaltă tensiune (după [1]). Dispunerea fazelor în plan orizontal (a); dispunerea în plan vertical (b); dispunerea coaxială a fazelor, cu vedere în lung (c), laterală (c_2) și de sus (c_3); L.I. — lanț de izolatoare.

O soluție mai specială este cea prezentată în figura 12, după unele realizări experimentale

Tabelul 1

Corelarea distanțelor de izolare cu nivelul supratensiunilor

U [kV]	110		220		330		500		750	
Supratensiunea nominală fază-fază [u.r.]	3	1,5	3	1,5	2,7	1,5	2,5	1,5	2,1	1,5
Distanța de izolare [m]	1,2	0,55	2,4	1,2	3,2	1,7	4,7	2,6	6,2	3,8

sovietice [1]. Creșterea capacității de transport este cu atît mai importantă cu cît conductoarele fazelor vecine sînt mai apropiate. Nivelul de supratensiuni, ținerea dielectrică a izolației între faze și posibilitățile apariției balansului asincron între conductoare limitează distanța minimă între faze.

Tabelul 1 [1] pune în evidență faptul că un control mai bun al supratensiunilor și o limitare a acestora la 1,5 u.r. aduce reduceri importante de distanțe.

Soluția din figura 12 *a* este destul de asemănătoare celor clasice, avînd montanții în afara fazelor, dar dispoziția subconductoarelor fazelor este diferită. Fazele laterale au subconductoarele nesimetric plasate față de verticală.

O soluție mult diferită o reprezintă varianta din figura 12 *b*, în care subconductoarele fazelor sînt dispuse în lanț și întreaga suspensie este stabilizată prin propria greutate. Subconductoarele externe sînt susținute de lanțuri de izolatoare. Eliminarea oscilațiilor nesincrone se face prin utilizarea distanțierelor metalice articulate. Se pare că această soluție nu necesită piese de distanțare între faze. Dimensiunile sînt mult mai reduse decît cele ale unei linii clasice, ele revenind practic la dimensiunile unei singure faze. Echilibrarea caracteristicilor electrice se realizează prin alegerea adecvată a geometriei fazelor. Uniformizarea sarcinilor și a curenților pe subconductoare impune distanțarea lor neregulată, mai depărtate la mijloc decît la extremitățile fascicolului, și faza mediană realizată în două straturi.

Varianta din figura 12 *c* reprezintă o linie coaxială. În vecinătatea stîlpului, fazele coaxiale sînt transformate în suspensii flexibile în „lănțișor", cu extremitățile agățate la montant prin lanțuri de izolatoare. În deschidere, subconductoarele sînt reunite în fascicole coaxiale susținute de distanțiere metalice articulate.

Acestor soluții, dat fiind dimensiunile lor deosebit de reduse, le corespund importante creșteri ale capacității de transport, dar ele nu sînt încă utilizate.

2. Rezultate preliminare privind compactizarea liniilor de 400 kV, dublu circuit din țară

Reducerea dimensiunilor liniilor electrice aeriene are consecințe directe asupra creșterii capacității de transport, prin reducerea impedanței caracteristice și îmbunătățirea integrării liniilor în mediul înconjurător (culoar, nivel perturbator, zgomot acustic, aspect estetic), în condiții economice favorabile. Afirmațiile de mai sus au fost utilizate și probate pentru liniile de 400 kV.

Dintre cele trei modalități de compactizare a liniilor, prezentate mai sus, s-a adoptat drept soluție convenabilă actualului stadiu tehnologic din țară (relativ la stîlpi, cleme, conductoare, distanțiere etc.) utilizarea stîlpilor de concepție clasică, din grinzi cu zăbrele pentru liniile dublu circuit de 400 kV, cu fazele fiecărui circuit dispuse în triunghi, cu lanțuri de izolatoare „în V" și trei conductoare pe fază.

Analiza sistematică și aprofundată a supratensiunilor de comutație (supratensiuni la anclanșare), pentru condițiile sistemului de 400 kV de la noi din țară (ca putere de scurtcircuit, lungimi de linie, tip de întrerupător), efectuată pe model numeric și analogic, [9], a condus la obținerea unor distribuții probabilistice caracterizate prin :

- supratensiuni fază—pămînt, de polaritate pozitivă :

$U_{med} = 2{,}1$ u.r. (50 %)
$U_{statistic} = 2{,}83$ u.r. (2%)

- supratensiuni fază-fază :

$U_{med} = 3{,}34$ u.r. (50 %)
$U_{statistic} = 4{,}29$ u.r. (2 %)

S-a efectuat dimensionarea distanțelor izolante de coronament pentru stîlpul dublu circuit de 400 kV, cu utilizarea lanțurilor „în V" pentru toate fazele. Cele două faze de pe consola inferioară ale unui circuit se află în plan orizontal la 5 m distanță. Faza a treia de pe consola superioară este cu 9 m mai sus și decalată cu 1 m spre exterior față de verticala fazei interioare (fig. 13). Deci fazele se află în vîrfurile unui triunghi cu laturile 5 m/9,06 m/9,85 m, rezultînd o distanță geometrică medie $D_{med} = 7{,}64$ m. Distanțele corespunzătoare pentru linia „clasică" sînt : 8 m/12 m/10,76 m, respectiv $D_{med} = 10{,}76$ m ; în mod corespunzător, impedanțele caracteristice sînt : 243,5 Ω, față de 264 Ω pe circuit.

S-au făcut verificări dielectrice complexe pentru distanțele izolante ale unei console inferioare. S-au ales tensiunile nominale de ținere fază—masă de 1050 kV, la impuls de tensiune de comutație, respectiv de 1425 kV, la impuls de tensiune de trăsnet. De asemenea, s-a aplicat tensiune de impuls pozitivă conductorului, respectiv tensiune de impuls negativă la consolă. În toate cazurile coronamentul s-a încadrat în nivelul de izolație ales în cadrul metodei convenționale de coordonare a izolației.

S-a efectuat cercetarea amănunțită a comportării conductoarelor în deschidere sub acțiu-

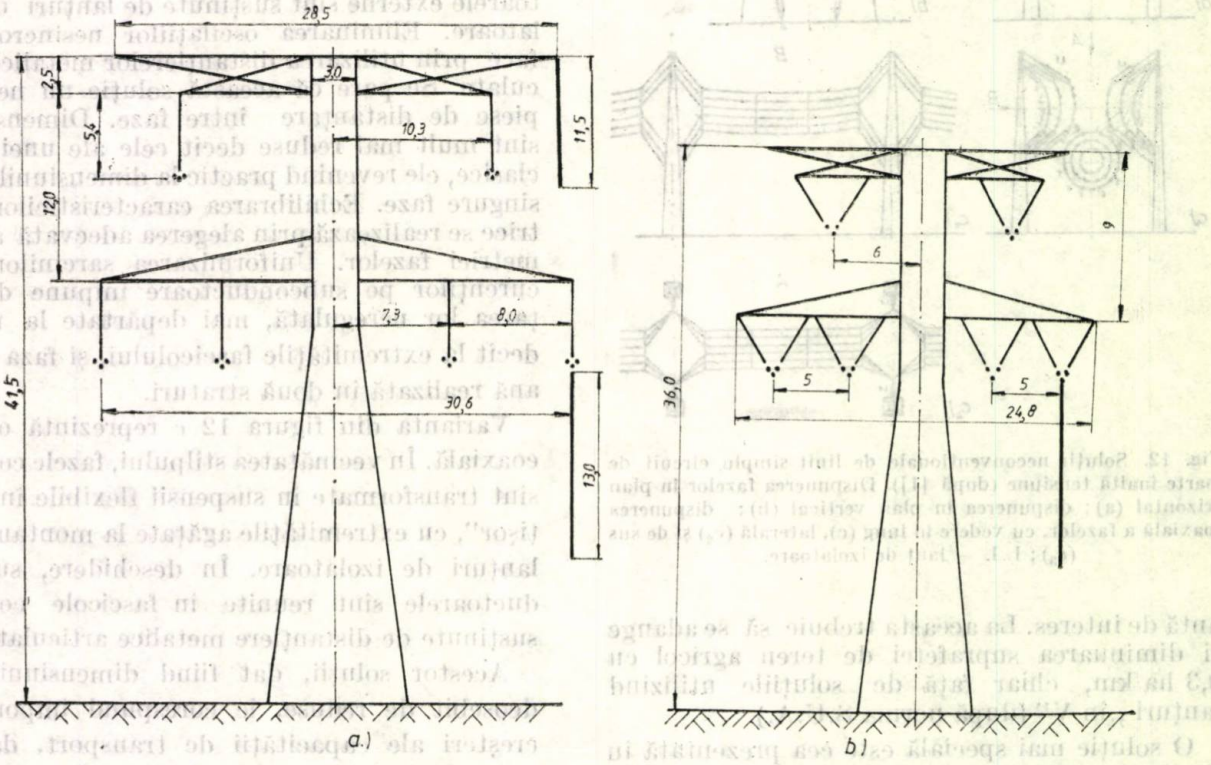


Fig. 13. Linie dublu circuit de 400 kV. Soluția de referință (stîlp S_R 400231) (a) și soluția compactă (b).

nea diverșilor factori meteorologici, în condițiile prevăzute de normativele în vigoare privind comportarea la chiciură, vînt, temperatură. S-a studiat balansul nesincron al conductoarelor sub acțiunea vîntului pentru lanțuri de izolatoare verticale sau „în V", saltul conductoarelor, galoparea pentru deschideri nominale și deplasarea la scurtcircuit (ultimul aspect prin adoptarea datelor din literatură [5]). În condițiile poziționării fazelor așa cum s-a arătat mai sus, în mod special a decalării pe orizontală a fazei superioare cu 1 m față de faza inferioară, tipul de coronament ales este satisfăcător, chiar fără utilizarea pieselor de distanțare între faze.

Pentru culoarul liniei s-a adoptat accepțiunea răspîndită în literatura de specialitate și anume : gabaritul conductoarelor laterale deplasate în direcții opuse sub acțiunea vîntului nesincron, la care se adaugă cîte o distanță de 6 m de fiecare parte.

În conformitate cu prevederile normativelor, deplasarea conductorului se face sub acțiunea vîntului maxim, la 15°C. Pentru tipul de linie cercetat rezultă un culoar de 48 m, adică 73% din culoarul liniei dublu circuit clasice.

În condițiile dimensionării anterior prezetată a distanțelor izolante și păstrării aceluiași unghi de protecție, înălțimea stîlpului este de 36 m, față de 41,5 m pentru linia clasică. În acest mod se reduce numărul de lovituri de trăsnet în linie cu 13% , ceea ce inseamnă o reducere corespunzătoare a numărului de incidente.

S-a efectuat o analiză de detaliu a cîmpului electric superficial pentru structura de linie analizată, cu variația poziției conductorului în deschidere, distanței la sol și altele. După cum era de așteptat, reducerea distanțelor între faze conduce la valori de cîmp electric mai mari decît la soluția clasică. Folosind aceste date s-au cercetat pierderile corona de putere activă pentru diferite categorii de timp.

Tabelul 2

Valorile comparative ale pierderilor corona trifazate, în kW/km, pentru L.E.A. 400 kV

Starea meteorologică	Intensitatea ploii [mm/h]	Pierderi coroana [kW/km]	
		LEA „clasică"	LEA „compactă"
Timp frumos		07,6	1,7
Ploaie	0,1	—	3
	0,5	14,6	32,2
	1	24,5	52,1
	2	38,1	73,0
Zăpadă		4,1	9,0
Chiciură		174	255

Pentru analiza globală a soluțiilor s-a determinat media anuală a pierderilor trifazate de putere prin descărcare corona pentru o aceeași structură de stare meteorologică : 77,7% timp frumos (6810 h), 11,4% ceață (1000 h), 4,6% zăpadă (400 h), 1,7% ploaie slabă (150 h), 1,7% ploaie puternică (150 h) și 28% chiciură (250 h). A rezultat o medie anuală pentru linia compactă de 10,64 kW/km, față de 6,49 kW/km, pentru linia clasică.

S-au făcut, de asemenea, determinările elementelor principale ale impactului asupra mediului.

Nivelul perturbator radioelectric, calculat cu funcția de excitație a conductoarelor liniei, a rezultat de :

— 51 dB/1 μV/m : timp frumos
— 66 dB/1 μV/m : ploaie

la 15 m de proiecția fazei extreme.

Zgomotul acustic, în același punct de referință se estimează la valori de

— 56,9 dBA : ploaie
— 51,9 dBA : ceață
— 41 dBA : timp frumos

iar cîmpul electric la 2 m de suprafața solului și în mijlocul deschiderii, la valori de

— în axul liniei : 4,9 kV/m
— la 15 m de ax : 3,24 kV/m

În condițiile utilizării unei fasciculări cu patru conductoare pe fază, dezvoltarea descărcării corona este mult limitată și efectele defavorabile ale compactizării scad.

S-au cercetat diversele modalități ale lucrului sub tensiune pentru stîlpul liniei compacte. S-a ajuns la concluzia că este posibilă utilizarea metodei lucrului „la potențial", fără modificări esențiale ale dispozitivelor de lucru, pentru faza superioară și faza interioară de pe consola inferioară. Pentru faza exterioară inferioară este necesară utilizarea scaunului izolant coborît în capul consolei.

Indicii comparativi ai variantei de linie compactă și „clasică" sînt :

• Creșterea de capacitate de transport, exprimată prin puterea naturală a unui circuit :

657 MW/600 MW (1,08)

• Diminuarea culoarului liniei :

48 m/66 m (0,73)

• Densitatea de capacitate de transport pe lățime de culoar :

13,7 MW/m/9,2 MW/m (1,49)

• Pierderile corona medii anuale raportate la densitatea de capacitate de transport :

$$0{,}776\ \frac{kW}{km} : 0{,}75\ \frac{MW}{m} \qquad (1{,}10)$$

O determinare exactă a costurilor nu poate fi făcută decît după proiectarea de detaliu a stîlpilor. Totuși, ținînd seama de ușurarea sarcinilor de moment pe stîlpi și de reducerea dimensiunilor se apreciază o posibilă reducere a greutății acestora cu circa 20%. Costul izolației este practic echivalent, la folosirea lanțurilor „în V" simple.

Se apreciază, în urma experienței cercetării compactizării liniilor dublu circuit de 400 kV, că aceleași principii pot fi aplicate liniilor simplu circuit, precum și liniilor de tensiuni mai joase. De asemenea, este posibil ca pentru liniile de 110 kV să fie interesante și soluțiile „cu console izolante".

Bibliografie

[1] Alexandrov, G. N., Alvarez, E. Y., ș.a. *L'isolation des lignes compactes, tenue en surtension de manoeuvre et sous tension de service permanent.* CIGRE, 1984. Raport 33—15.

[2] Cristina, S. *High phase order transmission: a sensitivity analysis of the optimum design of the transmission line.* Fourth ISH, Atena, 1983, Raport 13—10.

[3] Barbarita, M., Clerici, A., Griglii, R., Paris, L., Marsi, B. *Lignes EHT compactes et conventionneles: comparaisons techniques et économiques.* CIGRE — 1984. Raport 22—13.

[4] Boos, D. V., Müllier, K. H, Palec, M., Schenk, G. *Expérience d'exploitation de lignes aériennes multiternes à haute tension de conception compacte.* CIGRE 1986. Raport 22—12.

[5] Gary, C., Dufournet, N., Porubaix, F. *Lignes 400 kV à dimensionnement réduit* — CIGRE, 1984, Raport 22—12.

[6] Cochard, P., Cojan, M. *Lignes à encombrement réduit: Projet LIBERE 63/90 kV* CIGRE — Symposium 1981, Stockholm, Raport 220—03.

[7] Grand, I. S., Stewart, J. R., Wilson, D. D., Garrity, T. F. *Higher phase order transmission line research.* CIGRE Symposium 1981, Stockholm, Raport 220—02.

[8] Pohlman, J. C., Pinkholm, T. A. *Armless construction reduces environmental impact of transmission lines.* CIGRE Symposium 1981, Stockholm, Raport 210—15.

[9] Cristescu, D., Coatu, S., Postolache, P., Băran, I., Nicoară, B., Măgureanu, Gh., Rusan, R. *Cercetări privind reducerea costului liniilor electrice aeriene de înaltă tensiune.* Contract de cercetare științifică nr. 8—5—17/85, I.P.B., 1987.

(Primit la 26 octombrie 1988, acceptat la 16 decembrie 1988)

NOUTĂȚI

Din energetica mondială

COMPARAȚIA EFICIENȚEI DEPOZITĂRII TEHNOLOGICE A COMBUSTIBILULUI NUCLEAR UZAT

Într-un articol publicat în revista japoneză *Denreky Kăidzai Kenkiu* nr. 23/1987 se face evaluarea economică, de tip comparativ, a tehnologiei de depozitare a combustibilului nuclear uzat.

Premisa de calcul: necesitatea unei depozitări intermediare pe o perioadă de 20 ani din momentul scoaterii acestuia din zona activă, pînă în momentul reprelucrării în uzine specializate. Variantele abordate: depozite construite pe teritoriul CNE sau depozite regionale în afara teritoriului CNE.

Sînt analizate tehnologii de depozitare în bazine cu apă, în containere avînd protecție biologică, în butoaie introduse în depozitele regionale. În articol se dau valorile cheltuielilor pentru depozitarea deșeurilor nucleare, care constau din cheltuieli pentru investiții, depozitare și transport.

Cheltuielile pentru investiții includ cheltuieli cu echipamentele, cu lucrările de construcții și cu demontarea, la terminarea perioadei de exploatare.

Rezultatele calculelor economice arată că în depozitele de pe teritoriul CNE cea mai eficientă este tehnologia de păstrare în containere cu protecție biologică. În depozitele regionale eficiența maximă aparține tehnologiei de păstrare în butoaie.

Odată cu mărirea capacității depozitelor de la 1000 tU la 5000 tU costul specific al păstrării în depozitele regionale scade de la 493 mii yeni la 360 mii yeni.

(După: Referativnii journal 22 Energhetika, volum general nr. 1/1989, poz. 1U 405)

PROBLEME ALE CNE PESTE HOTARE. AVARIILE LA CENTRALELE NUCLEAROELECTRICE

În publicația „*Nuclear Engineering International*" 1987, 32, nr. 396 a apărut un articol în care se expun punctele de vedere analizate de Comisia privind securitatea instalațiilor nucleare din cadrul Agenției pentru Energie Nucleară în ceea ce privește rolul operatorului într-o situație de avarie la CNE.

În principal există două modalități de punere a problemei:

În cazul în care se acceptă ca posibilă o avarie grea, este necesar să se elaboreze măsuri de control al unei astfel de avarii prin care să se evite consecințele grave ale acesteia. O măsură poate fi învelișul de protecție al reactorului (anvelopă), dotat cu filtre speciale, care trebuie să asigure localizarea în proporție de 99,9% a emisiei radioactive, în cazul în care are loc topirea zonei active. O astfel de abordare este caracteristică Franței, Suediei și Finlandei.

Cealaltă abordare presupune existența unui sistem de securitate atît de eficient, concomitent cu un nivel tehnic al CNE atît de înalt, încît probabilitatea unui incident grav să fie extrem de redusă; în acest caz nu sînt necesare nici un fel de sisteme suplimentare. O astfel de abordare se bizuie pe evaluarea probabilistică a riscului.

În articol se subliniază influența avariei de la CNE Cernobîl asupra concepțiilor expuse.

(După: Referativnii jurnal 22 Energhetika, volum general nr. 1/1988, poz. 1 U 313)

Aspecte tehnico-economice ale recuperării căldurii gazelor de ardere

Prof. dr. ing. IOAN GH. CARABOGDAN, conf. dr. ing. VICTOR ATHANASOVICI, ing. VASILE ANGHELUŢĂ, ing. CAMELIA BORŞAN *

Descriptori : gaze de ardere, recuperări energetice

C.Z : 662.613.5 : 621 — 68

Articolul analizează o serie de probleme legate de eficienţa tehnico-economică a recuperării căldurii fizice a gazelor de ardere. Este prezentată metodologia generală pentru analiza eficienţei recuperării, pe baza factorului de multiplicare a economiei de combustibil, pentru cazurile recuperării în direcţiile tehnologică, termoenergetică şi electroenergetică. Este prezentat, de asemenea, modul de calcul al economiei relative totale de combustibil în cazurile amintite şi se trag concluzii asupra parametrilor care au o influenţă semnificativă asupra acestor mărimi.

The paper analyses a series of problems regarding technical economic efficiency of the flue gases physical heat recovery. The general method for the recovery efficiency analysis is presented. It is based on the fuel saving multiplying factor, for the cases of recovery in technological, heat and electricity generation fields. The calculation of the total relative fuel saving for the mentioned cases is presented. Conclusions are drawn referring to the parameters engendering a significant determination of these quantities.

Cadrul problemei

Recuperarea căldurii gazelor de ardere pentru preîncălzirea aerului de ardere sau/şi în scopuri energetice — în cazane recuperatoare — pentru producerea de apă caldă, apă fierbinte sau abur, reprezintă cazul cel mai des întîlnit în industrie, de recuperare a resurselor energetice secundare. Totodată, aceasta conduce la efectele economice cele mai spectaculoase, sub aspectul economiei de combustibil astfel realizată şi al eficienţei economice de ansamblu a recuperării.

Totuşi, în cazul recuperării căldurii gazelor de ardere trebuie ţinut seama că eficienţa tehnico-economică este limitată atît de elemente de natură tehnică (natura procesului tehnologic şi natura combustibilului utilizat), cît şi de elemente de natură economică (costul recuperatorului faţă de economia de combustibil realizată, consumuri suplimentare de energie pentru vehicularea gazelor de ardere şi a aerului necesar arderii).

De asemenea, în cazul recuperării în direcţie energetică, eficienţa tehnico-economică este mult influenţată, pe lîngă elementele evidenţiate la preîncălzirea aerului de ardere, de gradul real posibil de utilizare în cursul anului a resursei energetice recuperabile din căldura disponibilă în acest scop în gazele de ardere (din r.e.s.).

Plecînd de la aceste aspecte, lucrarea de faţă pune la dispoziţie metodologia generală pentru aprecierea eficienţei tehnice a recuperării căldurii gazelor de ardere în cele două direcţii menţionate. Totodată, pe baza acestei metodologii sînt prezentate o serie de diagrame care pot constitui exemple de nomograme pentru determinarea eficienţei analizate, în condiţiile iniţiale cînd încă nu s-a trecut la proiectarea efectivă a recuperatoarelor.

Din acest punct de vedere, lucrarea constituie un instrument util în faza iniţială de stabilire a eficienţei soluţiei de recuperare, urmînd ca în acest fel să se decidă oportunitatea recuperării şi limitele acestei oportunităţi, în funcţie de condiţiile concrete existente în cazul analizat.

Se poate spune că ea este utilă în cadrul lucrărilor care stabilesc direcţiile de recuperare a căldurii gazelor de ardere, după faza de inventariere a r.e.s.

În lucrare sînt prezentate metodologiile de calcul şi rezultatele obţinute în urma analizei pur energetice, bazată pe economia de combustibil realizată prin recuperare.

1. Eficienţa energetică a recuperării căldurii gazelor de ardere

Analiza eficienţei energetice a recuperării căldurii gazelor de ardere are la bază criteriul economiei de combustibil astfel realizată. El se poate studia fie prin „coeficientul de multiplicare a economiei de combustibil — μ", cunoscut şi sub numele „coeficientul lui Szargut", fie prin valoarea „economiei relative totale de combustibil", introdusă pentru prima dată în lucrarea [1] şi completată — pentru cazul cel mai general — în lucrarea [2].

* Prof. dr. ing. Ioan Gh. Carabogdan, conf. dr. ing. Victor Athanasovici, ing. Vasile Angheluţă, ing. Camelia Borşan — Facultatea de Electrotehnică şi Energetică, Institutul Politehnic Bucureşti

În continuare sînt prezentate relațiile generale de calcul al coeficientului de multiplicare a economiei de combustibil și al diferenței relative totale de combustibil, pentru cazul separat al recuperării căldurii gazelor de ardere pentru preîncălzirea aerului de ardere și respectiv pentru recuperarea energetică în scopul producerii apei calde, apei fierbinți, aburului sau încălzirii oricărui alt agent termic (eventual aerul). Lucrarea — la această fază — nu prezintă metodologia și pentru cazul recuperării simultane a căldurii gazelor de ardere în cele două direcții, cu optimizarea gradului recuperării pe fiecare direcție.

Față de lucrările anterioare, menționate, în lucrarea de față se prezintă o metodologie unică, indiferent de direcția recuperării, prin extinderea — de exemplu — a noțiunii coeficientului de multiplicare a economiei de combustibil, atît la preîncălzirea aerului de ardere, cît și a recuperării energetice.

În cazul recuperării energetice metodologia și relațiile de calcul astfel rezultate țin seama de direcția de recuperare — termică sau electroenergetică — și de natura sursei de căldură astfel înlocuită, CT sau CET.

1.1. Coeficientul de multiplicare a economiei de combustibil

În cazul cel mai general, indiferent de direcția recuperării căldurii gazelor de ardere, coeficientul de multiplicare a economiei de combustibil se poate exprima sub forma:

$$\mu = \frac{\Delta B \cdot H_i}{Q_{\text{r.e.r.}}} \cdot \delta, \qquad (1)$$

unde:

ΔB este economia absolută de combustibil realizată prin recuperare, în kg/an;

$Q_{\text{r.e.r}}$ — căldura anuală recuperată din căldura conținută de gazele de ardere ca r.e.s., în kJ/an;

H_i — puterea calorifică inferioară a combustibilului utilizat, în kJ/kg;

δ — gradul anual de recuperare efectivă a căldurii gazelor de ardere.

În relația (1) se utilizează următoarele expresii generale:

$$\Delta B = B_1 - B_2 = B_1 \left(1 - \frac{B_2}{B_1}\right) \text{[kg/an]}, \qquad (2)$$

Tabelul 1

Factorul de multiplicare a economiei de combustibil

Direcția recuperării	Relațiile de calcul
Preîncălzirea aerului de ardere	$\mu_{PA} = \frac{\Delta B . H_i}{Q_{PA}} = \frac{H_i}{H_i - [v_g^0 + (\alpha - 1) v_a^0] c_{pg} (t_{gev} - t_{ae})} = f(H_i, \alpha, t_{gev})$ (5)
Recuperare energetică în direcție:	
a) termică, pentru:	
1) înlocuirea CT:	$\mu^t_{en(CT)} = \frac{\Delta B . H_i}{Q_{CR}} \cdot \delta^t = \frac{\delta^t}{\eta_{CT\,în}} = f(\eta_{CT\,în}, \delta^t)$ (6)
2) înlocuirea CET:	$\mu^t_{en(CET)} = \left[\frac{1}{\eta_{C\,în}} - H_i \cdot y (b_{în} - b_t) \cdot \frac{1}{3600}\right] \cdot \delta^t = f(\eta_{c\,în}, H_i, y, b_{în}, \delta^t)$ (7)
b) electroenergetică:	$\mu^e_{en} = \frac{\Delta B}{E_{rer} \cdot b_{rec}} \cdot \delta^e = b_{în} . H_i \cdot \eta_{C^*R} \cdot \eta_{ai^*r} \cdot \eta_m \cdot \eta_g \cdot \delta^e = f(b_{în}, H_i, \eta_{ai^*r}, \eta_{CR}, \delta^e)$ (8)

S-a notat: Q_{PA} — căldura preluată de aerul preîncălzit, în kJ/an;

v_g^0, v_a^0 — volumul teoretic de gaze și de aer de ardere, în m³*/unit. de combustibil utilizat;

α — coeficientul de exces de aer;

c_{pg} — căldura specifică medie a gazelor de ardere, în kJ/kg. grd;

t_{ae}, t_{gev} — temperatura aerului înainte de preîncălzire și a gazelor de ardere la intrarea în preîncălzitorul de aer, în °C;

Q_{CR} — căldura preluată în cazanul recuperator de agentul termic încălzit, în kJ/an;

δ^t, δ^e — gradul anual de recuperare efectivă a căldurii gazelor de ardere, în direcție termică, respectiv electroenergetică;

$\eta_{CT\,în}$, $\eta_{c\,în}$ — randamentul mediu anual al cazanelor din CT sau din CET înlocuite (devenite disponibile) prin recuperare;

y — indicele de termoficare mediu anual cu care produce energia electrică CET pe seama căldurii livrată acum prin recuperare, în kW/kW;

$b_{în}$, b_t — consumul specific de combustibil pentru producerea energiei electrice la nivelul sursei înlocuită (în general sistemul energetic național) și pentru producerea energiei electrice în CET pe seama căldurii livrate din turbine (produsă acum prin recuperare), în kgc.c./kWh;

η_{CR} — randamentul termic mediu anual al cazanului recuperator, utilizat pentru producerea aburului în scopuri electroenergetice;

$\eta_{ai.r}$ — randamentul absolut intern al ciclului termodinamic recuperator;

η_m, η_g — randamentul mecanic al turbinei și al generatorului electric, pentru instalația recuperatoare.

* m³ în condiții normale de presiune și temperatură

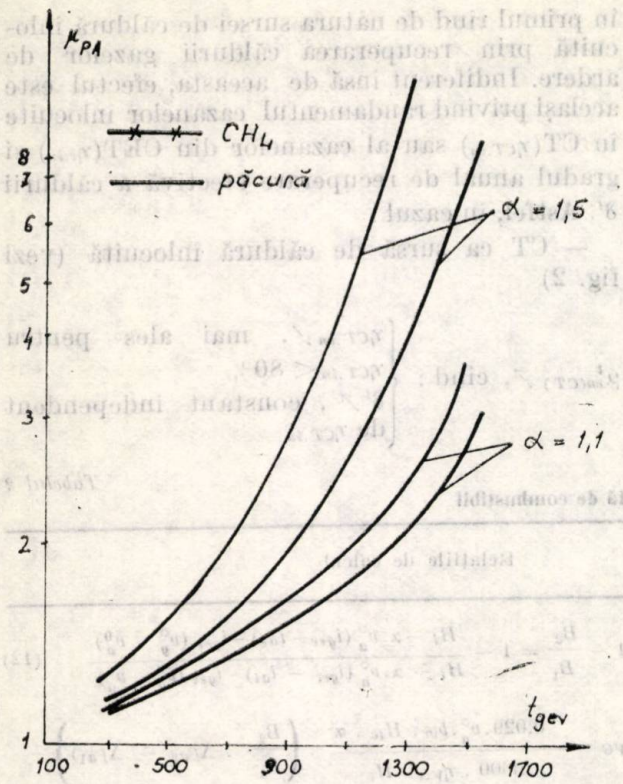


Fig. 1. Variația factorului de multiplicare a economiei de combustibil în cazul preîncălzirii aerului de ardere cu gazele de ardere.

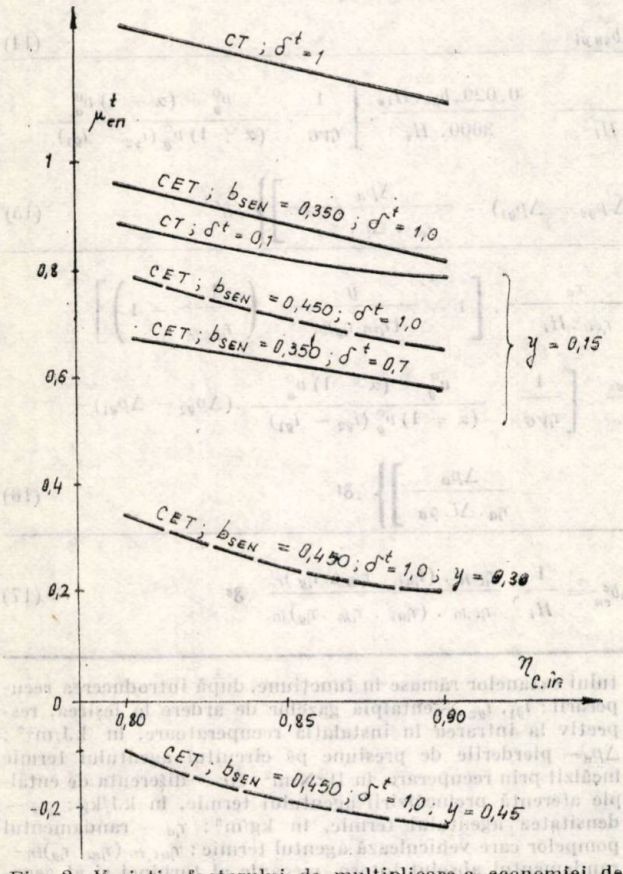


Fig. 2. Variația factorului de multiplicare a economiei de combustibil în cazul folosirii gazelor de ardere pentru recuperare în direcție termoenergetică.

$$Q_{r.e.r} = Q_{r.e.s.} \cdot \eta_{r.e.c.} = \Delta Q_g \cdot \eta_{r.e.c.} \text{ [kJ/an]}, \quad (3)$$

$$\delta = \tau_{r.e.r.} / \tau_{r.e.s.} \quad (4)$$

în care B_1 și B_2 reprezintă consumurile anuale de combustibil ale agregatului tehnologic analizat, înainte și după recuperarea căldurii gazelor de ardere, în kg/an ; $Q_{r.e.s.}$ — căldura anuală, disponibilă sub formă de r.e.s., conținută de gazele de ardere (ΔQ_g), în kJ/an ; $\eta_{r.e.c.}$ — randamentul termic al instalației recuperatoare; $\tau_{r.e.s.}$, $\tau_{r.e.r.}$ — durata anuală a disponibilității r.e.s., sub forma căldurii gazelor de ardere, respectiv a utilizării efective a acesteia, în h/an.

Ținînd seama de relațiile generale 1—4, în tabelul 1 sînt prezentate relațiile de calcul ale factorului de multiplicare a economiei de combustibil, în funcție de direcția de recuperare.

Pe baza relațiilor (5) — (8), în figurile 1—3 este prezentată dependența factorului de multiplicare a economiei de combustibil (μ) de principalii parametri care intervin. Din analiza lor rezultă următoarele :

1) *În cazul preîncălzirii aerului de ardere* efectele celor trei parametri puși în evidență de relația (5) — în ordinea mărimii acestor efecte—sînt :

$\mu_{PA} \nearrow$, cînd :
- a) $t_{gev} \nearrow$, mai ales pentru $t_{gev} > 700 \ldots 800°C$;
- b) $\alpha \nearrow$, mai ales pentru $\alpha > 1,3$;
- c) $H_i \swarrow$.

Deci efectul principal asupra creșterii factorului economiei de combustibil în cazul preîncălzirii aerului de ardere îl are creșterea temperaturii gazelor de ardere (t_{gev}) evacuate din camera de lucru a agregatului tehnologic.

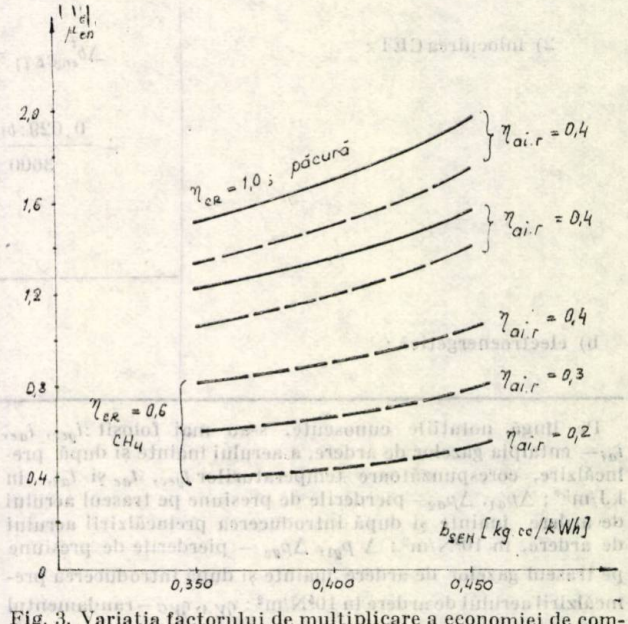


Fig. 3. Variația factorului de multiplicare a economiei de combustibil în cazul folosirii gazelor de ardere pentru recuperare în direcție electroenergetică.

Urmează, ca mărime a efectului, creşterea coeficientului de exces de aer cu care are loc arderea şi mai puţin calitatea combustibilului. Gradul de creştere a lui μ în funcţie de α şi H_i este cu atît mai mare cu cît temperatura gazelor de ardere (t_{gev}) evacuate din camera de lucru este mai mare, deci cu cît procesul tehnologic are loc la temperaturi t_p mai mari (ştiind că există o dependenţă directă, dictată de transferul căldurii în camera de lucru, între t_p şi $t_{gev} = t_p + \Delta t$, unde Δt depinde ca valoare de o serie de factori tehnologici şi constructivi ce caracterizează camera de lucru).

2) *La recuperarea în direcţie termoenergetică* (vezi figura 2) efectele diverşilor factori depind în primul rînd de natura sursei de căldură înlocuită prin recuperarea căldurii gazelor de ardere. Indiferent însă de aceasta, efectul este acelaşi privind randamentul cazanelor înlocuite în CT($\eta_{CT.in}$) sau al cazanelor din CET($\eta_{c.in}$) şi gradul anual de recuperare efectivă a căldurii δ^t. Astfel, în cazul :

— CT ca sursă de căldură înlocuită (vezi fig. 2)

$\mu^t_{en(CT)} \nearrow$, cînd : $\begin{cases} \eta_{CT.in} \swarrow, \text{ mai ales pentru } \eta_{CT.in} < 80\% \\ \delta^t \nearrow, \text{ constant independent de } \eta_{CT.in} \end{cases}$

Tabelul 2

Economia relativă totală de combustibil

Direcţia recuperării	Relaţiile de calcul	
Preîncălzirea aerului de ardere	$\Delta b' = \frac{\Delta B'}{B_1} = 1 - \frac{B_2}{B_1} = 1 - \frac{H_i - \alpha . v^\circ_a (i_{gev} - i_{ae}) - i_{gev}(v^\circ_g - v^0_a)}{H_i - \alpha . v^\circ_a (i_{gev} - i_{a1}) - i_{gev}(v^\circ_g - v^\circ_a)}$	(12)
	$\Delta b_{supl} = \Delta b_{VA} + \Delta b_{VG} = \frac{0{,}029 . v^\circ_a . b_{in} . H_{ic} . \alpha}{3600 . \eta_{VA} . H_i} . \left(\frac{B_2}{B_1} . \Delta_{fa2} - \Delta_{fa1} \right) + \frac{0{,}029 . b_{in} . H_{ic} [v^\circ_g + (\alpha - 1) v^\circ_a]}{3600 . \eta_{VG} . H_i} . \left(\frac{B_2}{B_1} . \Delta p_{g2} - \Delta p_{g1} \right)$	(13)
	$\Delta b_{PA} = \Delta b' - \Delta b_{supl}$	(14)
Recuperare energetică în direcţie : a) termică, pentru 1) înlocuirea CT :	$\Delta b^t_{en(CT)} = \left\{ \frac{x_c}{\eta_{CT.in} . H_i} - \frac{0{,}029 . b_{in} . H_{ic}}{3600 . H_i} . \left[\frac{1}{\eta_{VG}} . \frac{v^\circ_g + (\alpha - 1) v^0_a}{(\alpha + 1) v^\circ_g (i_{g2} - i_{g1})} . (\Delta p_{g2} - \Delta p_{g1}) - \frac{\Delta p_a}{\eta_a . \Delta i . \varrho_a} \right] \right\} . \delta^t$	(15)
2) înlocuirea CET :	$\Delta b^t_{en(CET)} = \left\{ \frac{x_c}{\eta_{c.in} . H_i} . \left[1 - \frac{y}{(\eta_{in} \eta_g)_{in}} . \left(\frac{1}{\eta_{ai\ in}} - 1 \right) \right] - \frac{0{,}029 . b_{in} . H_{ic}}{3600 . H_i} . \left[\frac{1}{\eta_{VG}} . \frac{v^\circ_g + (\alpha - 1) v^\circ_a}{(\alpha + 1) v^\circ_g (i_{g2} - i_{g1})} . (\Delta p_{g2} - \Delta p_{g1}) - \frac{\Delta p_a}{\eta_a . \Delta i . \varrho_a} \right] \right\} . \delta^t$	(16)
b) electroenergetică :	$\Delta b^e_{en} = \frac{1}{H_i} . \frac{\eta_{CR} . (\eta_{ai} . \eta_m . \eta_g)_r}{\eta_{c.in} . (\eta_{ai} . \eta_m . \eta_g)_{in}} . \delta^e$	(17)

Pe lîngă notaţiile cunoscute, s-au mai folosit : i_{gev}, i_{ae}, i_{ai} — entalpia gazelor de ardere, a aerului înainte şi după preîncălzire, corespunzătoare temperaturilor t_{gev}, t_{ae} şi t_{ai}, în kJ/m^3*; Δp_{a1}, Δp_{a2} — pierderile de presiune pe traseul aerului de ardere înainte şi după introducerea preîncălzirii aerului de ardere, în 10^{5}N/m^2; Δp_{g1}, Δp_{g2} — pierderile de presiune pe traseul gazelor de ardere înainte şi după introducerea preîncălzirii aerului de ardere în 10^{5}N/m^2; η_{VA}, η_{VG} — randamentul ventilatorului de aer şi al exhaustorului de gaze de ardere; x_c — coeficient care ţine seama de modificarea randamentului cazanelor rămase în funcţiune, după introducerea recuperării : i_{g1}, i_{g2} — entalpia gazelor de ardere la ieşirea, respectiv la intrarea în instalaţia recuperatoare, în kJ/m^3*; Δp_a — pierderile de presiune pe circuitul agentului termic încălzit prin recuperare, în 10^{5}N/m^2; Δi — diferenţa de entalpie aferentă preîncălzirii agentului termic, în kJ/kg; ϱ_a — densitatea agentului termic, în kg/m^3; η_a — randamentul pompelor care vehiculează agentul termic; $\eta_{ai\ in}$ (η_m, η_g)$_{in}$ — randamentul absolut intern, mecanic al turbinei şi al generatorului electric, pentru ciclul termodinamic înlocuit; (η_{ai}, η_m, η_g)$_r$ — idem, pentru ciclul termodinamic recuperator

— CET ca sursă de căldură înlocuită (vezi fig. 3) — în ordinea mărimii efectelor diverşilor factori :

$$\mu^t_{en(CET)}\nearrow, \text{ cînd : } \begin{cases} \text{a) } y\swarrow ; \\ \text{b) } b_{în} = b_{SEN}\swarrow ; \\ \text{c) } \delta^t\nearrow ; \\ \text{d) } \eta_{c.în}\swarrow . \end{cases}$$

La aceleaşi valori pentru $\eta_{CT.în} = \eta_{c.în}$ şi δ^t, în cazul înlocuirii prin recuperare a CT, factorul de multiplicare a economiei de combustibil este mai mare decît în cazul înlocuirii CET. Aceasta se explică prin faptul că în cazul CET, prin recuperare se reduce cantitatea de căldură livrată din turbine, diminuîndu-se corespunzător producţia de energie electrică a acestora.

Pentru randamente $\eta_{CT.în} = \eta_{c.în} = 0{,}80 \ldots$ $\ldots$ 0,90, efectul asupra valorii lui μ^t_{en} este destul de redus, în comparaţie cu efectul reducerii gradului anual de recuperare efectivă δ^t.

În cazul înlocuirii unei CET, efectele cele mai mari le au valorile indicilor de termoficare cu care produc energia electrică turbinele din CET, adică parametrii aburului livrat sub formă de căldură ; cu cît parametrii cresc, indicele de termoficare scade. Pe lîngă y, un efect deosebit îl are valoarea consumului specific de combustibil pentru producerea energiei electrice în SEN — $b_{în} = b_{SEN}$; cu cît SEN produce energia electrică cu consumuri specifice de combustibil mai mari, cu atît factorul de multiplicare al economiei de combustibil μ se reduce. Faţă de efectele factorilor y, b_{SEN} şi δ^t, cel al lui $\eta_{c.în}$ este în general mult diminuat.

3) *La recuperarea în direcţie electroenergetică* (vezi fig. 3) ţinînd seama de valorile curente ale parametrilor care intervin în relaţia (8) se constată că în ordinea mărimii efectelor lor asupra lui μ^e_{en}, situaţia este următoarea :

$$\mu^e_{en}\nearrow, \text{ cînd : } \begin{cases} \text{a) } \eta_{CR}\nearrow ; \\ \text{b) } \eta_{ai.r}\nearrow ; \\ \text{c) } \delta^e\nearrow ; \\ \text{d) } b_{în} = b_{SEN}\nearrow . \end{cases}$$

Este de remarcat cazul $\eta_{CR} = 1$, adică atunci cînd gazele de ardere sînt utilizate direct într-un ciclu termodinamic recuperator cu turbine cu gaze.

1.2. Diferenţa totală de combustibil

În cazul cel mai general, indiferent de direcţia recuperării căldurii gazelor de ardere, economia relativă totală de consum de combustibil se poate exprima sub forma :

$$\Delta b = \frac{\Delta B}{B_1} \cdot \delta = \frac{\Delta B' - \Delta B_{supl}}{B_1} \cdot \delta =$$

$$(\Delta b' - \Delta b_{supl}) \cdot \delta \left[\frac{\text{kg.cb.ec}}{\text{kg.cb.ars}} \right], \qquad (9)$$

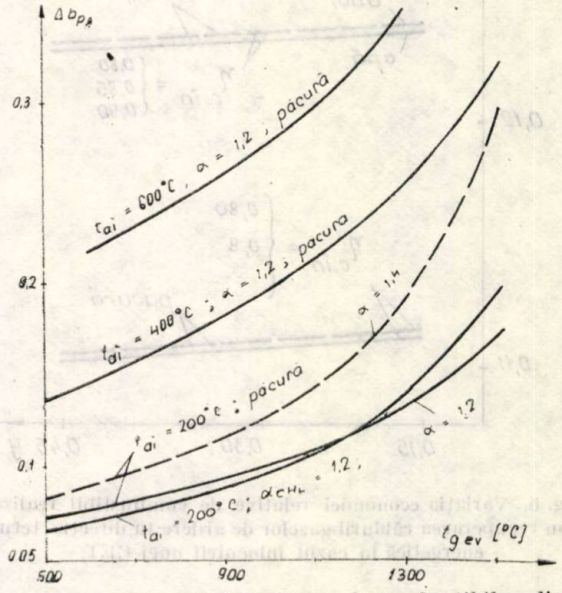


Fig. 4. Variaţia economiei relative de combustibil realizată prin recuperarea căldurii gazelor de ardere pentru preîncălzirea aerului de ardere.

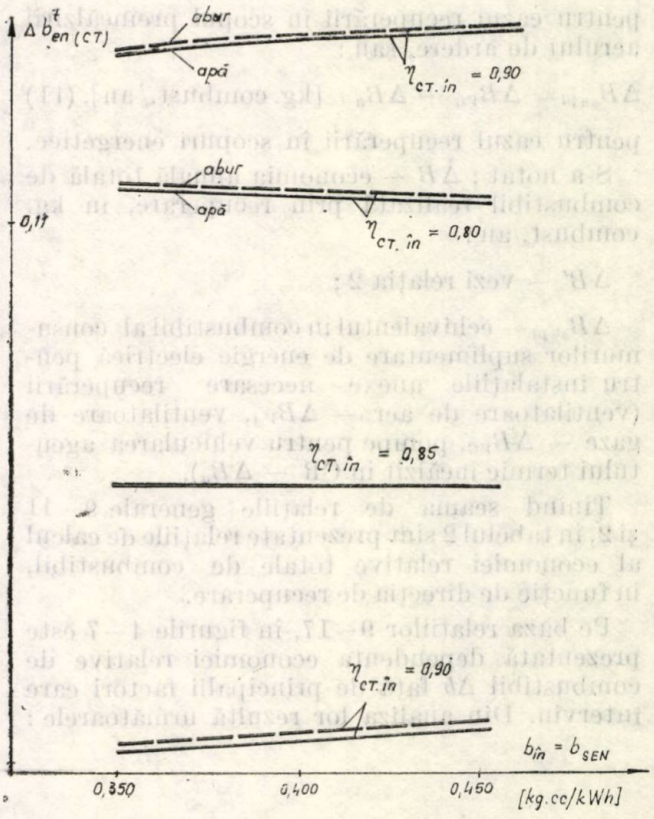


Fig. 5. Variaţia economiei relative de combustibil realizată prin recuperarea căldurii gazelor de ardere în direcţie termoenergetică în cazul înlocuirii unei CT.

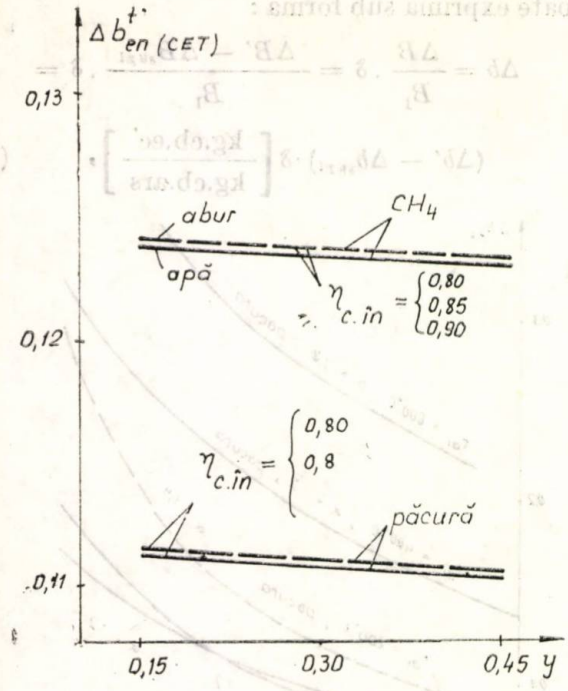


Fig. 6. Variația economiei relative de combustibil realizată prin recuperarea căldurii gazelor de ardere în direcție termoenergetică în cazul înlocuirii unei CET.

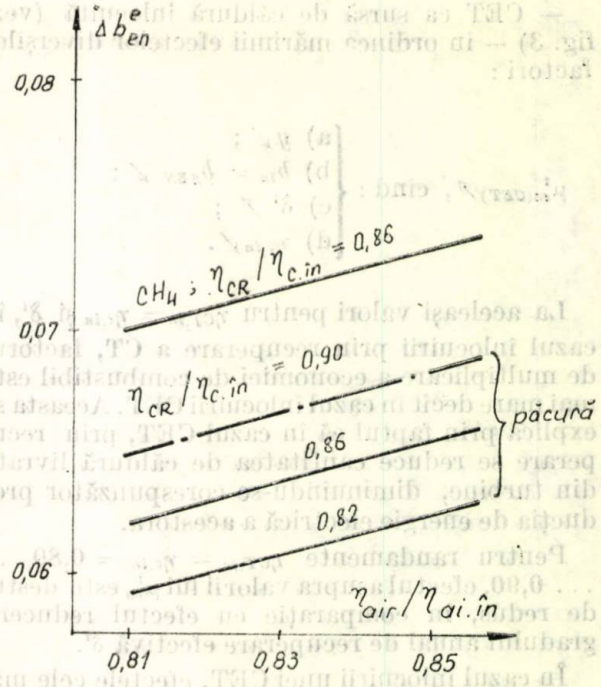


Fig. 7. Variația economiei relative de combustibil prin recuperarea căldurii gazelor de ardere în direcție electroenergetică.

în care :

$$\Delta B_{supl} = \Delta B_{VA} + \Delta B_{VG} \text{ [kg. combust. /an]}, \quad (10)$$

pentru cazul recuperării în scopul preîncălzirii aerului de ardere, sau :

$$\Delta B_{supl} = \Delta B_{VG} + \Delta B_a \text{ [kg. combust./an]}, \quad (11)$$

pentru cazul recuperării în scopuri energetice.

S-a notat : ΔB — economia anuală totală de combustibil realizată prin recuperare, în kg. combust./an ;

$\Delta B'$ — vezi relația 2 ;

ΔB_{supl} — echivalentul în combustibil al consumurilor suplimentare de energie electrică pentru instalațiile anexe necesare recuperării (ventilatoare de aer — ΔB_{VA}, ventilatoare de gaze — ΔB_{VG}, pompe pentru vehicularea agentului termic încălzit în CR — ΔB_a).

Ținînd seama de relațiile generale 9—11 și 2, în tabelul 2 sînt prezentate relațiile de calcul al economiei relative totale de combustibil, în funcție de direcția de recuperare.

Pe baza relațiilor 9—17, în figurile 4—7 este prezentată dependența economiei relative de combustibil Δb față de principalii factori care intervin. Din analiza lor rezultă următoarele :

1) în general economia relativă totală de combustibil (Δb) este influențată în principal de aceiași parametri și în același sens, ca și în cazul factorului de multiplicare a economiei de combustibil (μ).

2) Indiferent de direcția recuperării și a tipului sursei de căldură înlocuită, influența consumului relativ suplimentar de combustibil (Δb_{supl}) este neglijabilă față de mărimea economiei relative de combustibil ($\Delta b'$).

3) În cazul preîncălzirii aerului de ardere, economia relativă totală de combustibil este sensibil influențată pe lîngă t_{gev}, H_i și α și de temperatura (t_{ai}) de preîncălzire a aerului de ardere, după cum rezultă din figura 4.

Bibliografie

[1] Ghia, V. *Recuperatoare și regeneratoare de căldură.* Editura Tehnică, București, 1966.

[2] Athanasovici, V. *Îndreptarul inginerului energetician din întreprinderile industriale.* Editura Tehnică, București, 1984.

(Primit la 25 iulie 1988, acceptat la 22 noiembrie 1988)

Resturile lemnoase şi fitomasa energetică—surse de hidrocarburi

Ing. ION BERINDAN, chim. REKA KOVACS-DOBOLYI, ing. TIBERIU MOLNAR, ing. IULIU ROSTAŞ*

Descriptori: bioenergetică, surse noi

CZ: 661.715

Actuala conjunctură energetică marcată de adîncirea decalajului între disponibilităţile de surse clasice şi nevoile de consum ale economiilor în dezvoltare, afirmă oportunitatea asimilării unor tehnologii de substituire a producţiei de energie şi materii prime, bazate pe sursele clasice.

Lucrarea abordează importanţa valorificării resturilor lemnoase şi a fitomasei energetice într-o nouă concepţie, şi anume tehnologizarea ei prin conversie termochimică în scopul obţinerii de hidrocarburi lichide. Sînt prezentate unele date privind pretabilitatea la gazeificare a speciilor lemnoase autohtone, influenţa unor parametri de proces şi rezultatele gazeificării, date obţinute prin experimentări de laborator la I.C.S.I.T.E.E. filiala Cluj-Napoca.

The present energy situation marked by the widening of the gap between the available classical sources and the demands of the developing economies determine the need to assimilate substitute technologies for conventional sources energy generation and raw materials production.

The paper outlines the importance of wood wastes and energetical phytomass revaluation by a new concept, i.e. thermal-chemical conversion technology for obtaining liquid hydrocarbons. Data are presented substantiating the gasification suitability of indigenous wood species.

The influence of some process parameters and the gasification results are presented. These data were obtained by laboratory tests at the Cluj-Napoca branch of the Studies, Research and Technological Engineering Institute for Power Equipment.

Menţinerea producţiei de hidrocarburi la nivelul cererii consumatorilor, în condiţiile epuizării într-o perspectivă nu prea îndepărtată a principalei surse — zăcămintele petrolifere — găseşte în tehnologiile de sinteză reale posibilităţi de materializare.

Caracteristic acestor tehnologii de substituire este faptul că îşi propun să valorifice surse cu grad înalt de disponibilitate, grad conferit fie de estimările de rezerve brute ale momentului actual (zăcămintele carbonifere), fie de caracterul regenerabil al sursei (masa lemnoasă).

Dacă în ceea ce priveşte sinteza hidrocarburilor din cărbune prin conversie termochimică sau termocatalitică, realizările pe plan mondial au ajuns la stadiul de producţie industrială, valorificarea masei lemnoase prin tehnologii de conversie la hidrocarburi nu a beneficiat pînă în prezent de o atenţie prea mare, fiind inhibată de unele considerente de ordin tehnico-economic, legate de colectarea, prepararea şi condiţionarea ei în vederea prelucrării.

Abordînd într-o concepţie nouă, integrată, procesul de transformare a masei lemnoase în hidrocarbură apreciem că gazeificarea şi conversia termocatalitică a gazului de generator în hidrocarburi lichide apare ca o alternativă viabilă tehnologic şi eficientă economic. Aceasta, desigur, şi în perspectiva creşterii preţului hidrocarburilor naturale, previzibilă în condiţiile epuizării resurselor.

Categoriile de masă lemnoasă vizate de valorificarea prin tehnologia menţionată mai sus cuprind:

— resturi lemnoase din tăieri în exploatări forestiere şi ferme pomicole;

— resturi lemnoase din industria prelucrării lemnului;

— fitomasă din culturi energetice pe bază de specii cu ciclu scurt de regenerare.

Resturile lemnoase rezultate din tăieri reprezintă una din importantele surse recuperabile de energie a cărei valorificare actuală este total ineficientă, ea rezumîndu-se practic fie la vînzarea către populaţie, fie la arderea directă la locul de exploatare. Implementarea şi generalizarea unui sistem de maşini pentru colectarea şi tocarea acestor resturi la nivelul exploatărilor forestiere sau al fermelor pomicole, ar asigura producerea unui considerabil volum de materie primă pentru gazeificarea şi conversia acesteia în hidrocarburi.

* Ing. Ion Berindan, chim. Reka Kovacs — Doboly, ing. Tiberiu Molnar, ing. Iuliu Rostaş — ICSITEE, filiala Cluj—Napoca

Resturile lemnoase din industria prelucrării lemnului, obligatoriu sub formă de bucăți, ar putea constitui o altă sursă importantă pentru gazeificare și conversie, evident în măsura în care ele apar ca disponibile din balanța tehnologiilor de aglomerare (producția de PAL, PFL etc.).

Un loc aparte între sursele de masă lemnoasă pentru conversia la hidrocarburi îl ocupă culturile energetice. Cercetările inițiate deja în țară în acest domeniu atestă posibilitatea realizării de culturi de fitomasă energetică pe bază de specii cu ciclu scurt de regenerare (plop, salcie, platan, salcîm) în zone cu soluri improprii altor culturi (luncile rîurilor, terenuri nisipoase). Aceste culturi sînt relativ ușor de realizat, îngrijit și exploatat cu mijloace mecanizate; au o mare productivitate (pînă la 24—28 tone masă lemnoasă uscată pe hectar și an). Caracterul centralizat, productivitatea ridicată și posibilitatea realizării lor practic în toate zonele țării, sînt în măsură să promoveze generalizarea lor și să asigure autogospodărirea cu materie primă pentru sinteza hidrocarburilor în profil teritorial.

Tehnologia de valorificare preconizată are la bază procesul de conversie termochimică a masei organice din lemn prin acțiunea agenților de gazeificare (oxigen și abur) în urma căruia rezultă un gaz chimizabil, caracterizat de un conținut ridicat de hidrogen și oxid de carbon, aflate în raport de 1÷1,5/1 și, conținut mediu de bioxid de carbon. Acest gaz, după purificare este convertit termocatalitic (tehnologie IECB, București) în hidrocarburi lichide (benzină sintetică — PREMIUM I —, α-olefine), rezultînd

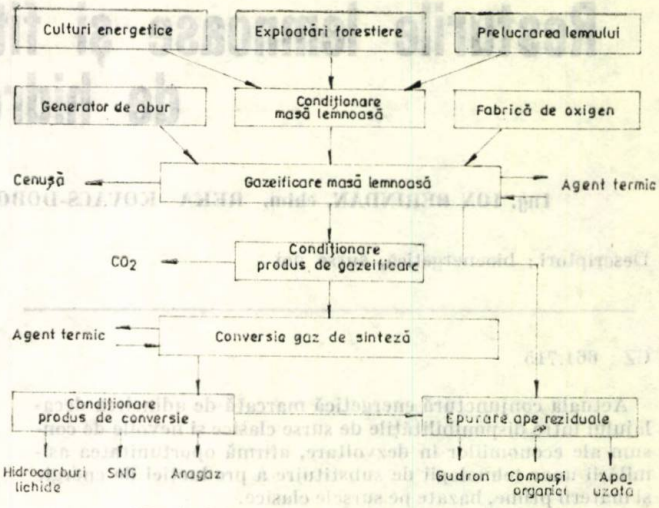


Fig. 1. Schema bloc a fluxului de valorificare.

ca produși secundari gazul natural și sintetic ($H_{inf} \simeq 5\,000$ kcal/m³*) și aragazul.

Acest flux tehnologic de valorificare a masei lemnoase este prezentat schematic în figura 1.

Prima etapă a conversiei lemnului este gazeificarea în strat fix cu oxigen și abur.

În vederea stabilirii pretabilității la gazeificare a speciilor lemnoase potențial valorificabile prin acest procedeu, în cadrul filialei Cluj-Napoca a ICSITEE se derulează un complex program de cercetări pe reactoare de laborator și pe model experimental. Prezentăm în continuare unele rezultate ale experimentărilor efectuate pe reactoare de laborator privind gazeificarea resturilor lemnoase provenite din exploatări forestiere sau din tăieri în ferme pomicole.

Tabelul 1

Nr. crt.	Parametrul / Tipul	Compoziție de gaz [%] H_2	CO	CO_2	CH_4	Raport H_2/CO	Viteză de consum masă lemnoasă [g/h]
1	Specii repede crescătoare din flora spontană (răchită) asimilabile la fitomasă energetică	37,9	37,5	21,8	2,2	1,0	56,9
2	Resturi lemnoase din exploatări forestiere — amestec 1 (molid 50% + fag 25% + stejar 25%)	43,9	30,8	23,4	1,5	1,4	37,2
3	Resturi lemnoase din exploatări forestiere amestec 2 (molid 50% + fag 45% + stejar 5%)	37,5	33,7	25,2	3,7	1,1	37,6
4	Resturi lemnoase din ferme pomicole (măr 30%, prun 30%, păr 20%, cireș 10%, vișin 10%)	36,6	33,1	25,9	3,0	1,1	36,1

* m³ în condiții normale de presiune și temperatură (notă valabilă pentru întregul articol).

Calculul compoziţiilor de echilibru ale gazelor, rezultate la diferite temperaturi şi presiuni, arată necesitatea atingerii unei temperaturi minime de 800 — 850°C, în vederea obţinerii unor concentraţii de hidrogen şi oxid de carbon între 30—37% şi a unui raport de hidrogen/oxid de carbon cuprins între 1/1÷1,5/1. Totodată se constată influenţa favorabilă a presiunilor joase asupra formării hidrogenului şi oxidului de carbon.

În tabelul 1 sînt prezentate compoziţiile de gaze rezultate din gazeificarea resturilor lemnoase în condiţiile obţinerii unui raport de H_2/CO cuprins între 1/1÷1,5/1, raport impus de caracteristicile procesului de conversie a gazului de generator la hidrocarburi lichide.

Datele experimentale din tabelul 1 arată că posibilitatea obţinerii unui gaz chimizabil prin gazeificarea resturilor lemnoase studiate, avînd raportul concentraţiilor H_2/CO cuprins între 1/1÷1,5/1, în gazul de generator, este condiţionată de modificarea consumului specific de agenţi de gazeificare în funcţie de cantitatea şi structura speciilor lemnoase componente. Particularităţile de structură ale diferitelor specii lemnoase determină condiţiile de descompunere termică a resturilor lemnoase, temperaturile şi vitezele de degajare ale materiilor volatile, ceea ce are influenţă asupra structurii microporoase a mangalului rezultat şi implicit asupra reactivităţii sale faţă de agenţii de gazeificare, rezultînd viteze de consum diferite ale masei lemnoase.

Producţiile specifice de gaz şi gudroane, raportate la masa lemnoasă transformată, sînt cuprinse între 1,1 1/g (răchită) şi 0,6 1/g (resturi lemnoase din exploatări forestiere-amestec 2), respectiv 0,03 g gudroane/g (răchită) şi 0,13 g gudroane/g (amestec 2).

Experimentele efectuate au arătat că mărirea vitezelor de consum ale masei lemnoase prin modificarea debitelor de agenţi de gazeificare, face posibilă creşterea producţiei specifice de gaz de generator, însă, aşa cum rezultă din datele prezentate în tabelul 2, această mărire implică o creştere a raportului concentraţiilor H_2/CO la peste 1,5/1 — afectînd calitatea gazului produs.

Creşterea valorii raportului H_2/CO la 1,8 — în cazul resturilor lemnoase din exploatări forestiere amestec 1 — faţă de valoarea H_2/CO de 1,1 — obţinută la gazeificarea amestecului 2, în aceleaşi condiţii de temperatură, presiune şi debite de agenţi de gazeificare — se datorează conţinutului mai redus în lemn de stejar al amestecului 2, a cărui comportare la gazeificare este sensibil diferită de a celorlalte specii din amestec.

Concluzii

Rezultatele experimentărilor efectuate demonstrează că resturile lemnoase, constituite din diferite specii lemnoase, se pretează la gazeificare cu abur şi oxigen, în scopul obţinerii unui gaz de generator chimizabil.

Debitele agenţilor de gazeificare şi raportul apă/oxigen au valori specifice, determinate de compoziţia chimică şi particularităţile de structură ale speciilor lemnoase gazeificate.

Obţinerea unui raport H_2/CO cuprins între 1 ÷ 1,5/1 în gazul de generator, impune micşorarea consumului specific de agenţi pentru

Tabelul 2

Nr. crt.	Parametrul / Tipul	Compoziţie de gaz [%] H_2	CO	CO_2	CH_4	Raport H_2/CO	Viteză de consum [g/h]
1	Specii repede crescătoare (răchită)	37,9	37,5	21,8	2,2	1,1	56,9
2	Resturi lemnoase din exploatări forestiere (amestec 1)	45,8	22,3	29,7	2,0	2,0	50,4
		46,3	26,8	22,0	4,3	1,7	37,8
		43,9	30,8	23,4	1,5	1,4	37,2
		44,5	24,8	27,3	3,0	1,8	40,0
		47,7	26,8	21,9	3,3	1,8	37,8
3	Resturi lemnoase din exploatări forestiere (amestec 2)	49,0	27,6	21,3	2,0	1,8	46,8
		37,5	33,7	25,2	3,7	1,1	37,6
4	Resturi lemnoase din ferme pomicole	44,1	24,6	29,1	2,1	1,8	48,2
		36,6	33,1	25,9	3,0	1,1	36,1

resturile lemnoase provenite din exploatări forestiere şi ferme pomicole, fapt care implică reducerea producţiei specifice de gaz în comparaţie cu lemnul de răchită.

Datele experimentale obţinute pe reactoare de laborator indică posibilitatea obţinerii unei producţii specifice de gaz brut chimizabil, cuprinsă între 0,6 şi 1,1 m^3/kg lemn gazeificat. Corelînd acest indicator cu producţiile specifice de hidrocarburi, gaz natural sintetic şi aragaz, obţinute în procesul de conversie termocatalitică a gazului de sinteză (hidrogen şi oxid de carbon în raport de 1/1), pe un micropilot de laborator la IECB Bucureşti, se apreciază că valorificarea masei lemnoase prin acest procedeu complex ar putea asigura următoarele producţii la o tonă de lemn gazeificat :

— 80÷ 100 l benzină sintetică ;
— 120÷ 170 m^3* gaz natural sintetic ;
— 6 ÷ 8 kg aragaz.

În cazul valorificării fitomasei din culturi energetice, avînd o producţie estimată de 20 : 25 tone/ha/an, rezultă că un hectar de cultură energetică ar putea asigura obţinerea a circa 2500 ÷ 3000 l benzină sintetică pe an, la un preţ de cost cu 50 ÷ 70% mai ridicat decît al benzinei obţinute în petrochimie.

Urmează ca cercetările la scară de model experimental şi evoluţia producţiei de hidrocarburi prin tehnologii clasice să ateste viabilitatea şi oportunitatea tehnico-economică a valorificării resturilor lemnoase şi fitomasei energetice prin gazeificare şi conversie la hidrocarburi a gazului de generator.

Bibliografie

[1] Domburg, G. E., Sergheeva, V. N. *Thermal Analysis*, vol. 3. Proceedings Third ICTA Dabos 1971, Birkhäuser Verlag Basel, pag. 328.
[2] Bjerle, I. ş.a. Ind. Eng. Chem. Process Des. Der. (1982), 21, pag. 141.
[3] Kosik, N. ş.a. Journal of Thermal Analysis, vol. 23, (1982) pag. 51.
[4] Laszkiewicz, B., Struscyk, H., Journal of Thermal Analysis, vol. 19 (1980), pag. 425.
[5] Niac, G. ş. a. *Formule, tabele, probleme de chimie-fizică*. Ed. Dacia Cluj-Napoca, 1984.

(Primit la 21 iulie 1988, acceptat la 14 noiembrie 1988)

NOUTĂŢI

Din energetica mondială

ALEGEREA SISTEMULUI DE ALIMENTARE CU APĂ ŞI PROIECTAREA PĂRŢII DE JOASĂ PRESIUNE

În articolul publicat de D. Blanck în revista Fossil Beheizte Dampfkraftwerke Grafelfing, Koln, 1986, p. 425—445 sînt descrise schemele principale ale sistemului apei de circulaţie la o centrală electrică de condensaţie, şi anume : alimentarea cu apă în circuit deschis ; alimentarea cu apă în circuit deschis cu răcirea apei în turnuri înaintea evacuării în emisar ; în circuit mixt ; în circuit închis cu turnuri umede ; în circuit închis cu turnuri uscate. Pentru un bloc de 750 MW turnul de răcire umed trebuie să aibă un diametru de ordinul a 100 m şi o înălţime de 135 m. În turnul uscat cu răcire prin convecţie apa circulă între condensator şi turn, unde se răceşte într-un schimbător de căldură de suprafaţă cu ajutorul unui flux de aer, indus prin intermediul unor ventilatoare. Deci răcirea are loc prin convecţie.

Pentru un bloc de 750 MW turnul uscat echipat cu ventilatoare necesită o suprafaţă ocupată de 100×120 m. În unele cazuri pentru alimentarea cu apă se utilizează iazuri de răcire cu sau fără stropitori. Se utilizează, de asemenea, turnuri combinate cu o parte umedă şi una uscată (răcire mixtă).

Consumul de căldură în turbină se înrăutăţeşte cu 0,32% pentru fiecare grad de creştere a temperaturii apei de răcire.

Investiţiile şi costul energiei electrice, la diferite sisteme de răcire, sînt arătate în tabelul 1.

Tabelul 1

Sistemul de răcire	Investiţii specifice [%]	Costul energiei electrice [%]
În circuit deschis	100	100
În circuit deschis, dar cu răcirea apei în turnuri, înaintea evacuării apei în emisar	102	102
Răcire în circuit mixt	103,5	103
Circuit închis cu turn umed	104,5	104,9
Circuit închis cu turn uscat	111,1	108,8

Necesarul de apă pentru un bloc de 750 MW este, pentru primele trei sisteme descrise mai sus, de 17—25 m^3/s, pentru sistemul 4 de la 2 la 25 m^3/s, iar pentru sistemul 5 nu sînt necesare decît adaosurile provenite din neetanşeităţi.

În articol este redat un calcul al costului apei pentru sistemul cu turn de răcire umed al unui bloc de 750 MW, precum şi nomogramele necesare determinării costului limită al apei.

Este prezentat, de asemenea, un algoritm pentru efectuarea calculelor pentru optimizarea pe calculator a părţii de joasă presiune (treapta rece). Temperaturile limită ale apei cade, reintrate în iazuri, se situează între 30—33°C, la o încălzire în centrală cu 10—15 °C.

Se analizează posibilităţile de folosire a apei calde cu ajutorul unor instalaţii cu pompe de căldură, precum şi pentru crescătoriile de peşte sau sere.

(După : Referativnii jurnal 22 Energhetika, volum general nr. 2/1988, poz. 2 S 84)

Asupra terminologiei privind regulatoarele de viteză pentru turbine hidraulice

Conf. dr. ing. MIRCEA-DIMITRIE CAZACU *

Introducere

Prezenta lucrare a fost elaborată la solicitarea colectivului de specialiști electrotehnicieni, care lucrează la întocmirea tezaurului de cuvinte din domeniul electrotehnicii și energeticii în cadrul Comisiei Internaționale de Electrotehnică (CEI)[1]. Cu această ocazie am constatat că dacă în domeniul recomandărilor CEI privind încercările turbinelor hidraulice și pompelor, atît în centrală, cît și pe model, terminologia străină are o bună corespondență în standardele românești [2, 3] nu tot așa se întîmplă în domeniul regulatoarelor de viteză ale turbinelor hidraulice, unde lipsa unei standardizări face ca cei interesați să oscileze între traducerile mot à mot din alte limbi, presărate cu neologisme și mai ales cu o serie de cuvinte improprii semnificațiilor științifice din limba română.

Acest lucru este explicabil atît prin caracterul interdisciplinar al subiectului, legat într-o măsură importantă de problema automatizării reglajului, cît și prin complexitatea noțiunilor fenomenului dinamic nepermanent al reglării, pentru a căror definire este necesară de multe ori figurarea diagramelor ce marchează comportarea sistemului reglat. Legat de caracterul modern și de strictă specialitate al problemei, vom mai observa că bibliografiile /4/ și /5/, care ne-au fost sugerate, ne-au fost de prea puțin folos.

În cele ce urmează vom împărți termenii legați de procesul reglării în șase grupe și în afara definiției vom mai adăuga termenul sinonim, simbolul și unitățile de măsură în sistemul internațional sau sisteme tolerate, precum și termenii echivalenți în limbile franceză și engleză [1].

1. Termeni generali

1.1. Regulator/régulateur/ /governing system/ — combinație de dispozitive și mecanisme care sesizează abaterea de turație a turbinei și o preschimbă într-un fel caracteristic într-o variație de cursă a servomotorului principal.

1.2. Turație sau viteză de rotație/vitesse/ /speed/ n (rot/min) sau n/n_N (0), ω(rad/s) sau ω/ω_N(0), f(Hz) sau f/f_N(0) — viteza de rotație a turbinei.

1.3. Turație nominală**) sau garantată/vitesse nominale/ /guaranteed speed/n_N sau n_G(rot/min), ω_N sau ω_G(rad/s), f_N sau f_G(Hz) — turația pentru care turbina este comandată.

1.4. Variație de turație /écart de vitesse/ /speed deviation/ Δn (rot/min), $\Delta\omega$ (rad/s), Δf (Hz) sau $x = \Delta n/n = \Delta\omega/\omega = \Delta f/f$ (0) — diferența absolută sau relativă dintre viteza reală de rotație la un moment dat și cea de referință.

1.5. Semnal de comandă /signal de commande/ /command signal/ C(?) — mărime de referință ce poate fi modificată printr-un element exterior regulatorului.

1.5.1. Variație a semnalului de comandă/écart de signal de commande/ /command signal deviation/ ΔC (?) $= C - C_0$ sau $c = \Delta C/C$ (0) — diferența dintre semnalul de comandă la un moment dat și valoarea de referință C_0 ce corespunde mersului în gol al turbinei la turația nominală și în condiții nominale de alimentare cu apă.

1.5.2. Gradient al turației față de semnalul de comandă /coefficient de proportionalité du signal de commande/ /command signal proportionality factor/ $b_c = \Delta x/\Delta c$ (0) — panta curbei reprezentînd viteza de rotație în funcție de semnalul de comandă, pentru o poziție dată a servomotorului aflat în regim permanent.

1.6. Servomotor principal /servomoteur principal/ /main servomotor/ — elementul regulatorului care acționează mecanismul de comandă al turbinei.

1.7. Cursa servomotorului /course du servomoteur/ /servomotor stroke/ Y(m) (rad) (°) sau Y/Y_M(0) — deplasarea tijei servomotorului principal considerată de la închiderea totală a admisiei apei în turbină pînă la o poziție intermediară oarecare, cursa maximă Y_M a servomotorului corespunzînd deplasării mecanismului de comandă de la închiderea totală la deschiderea completă a turbinei.

1.7.1. Variație a cursei servomotorului /écart de position du servomoteur/ /servomotor stroke deviation/ $\Delta Y = Y - Y_0$ (m) (rad) (°)

*) Conf. dr. ing. Mircea — Dimitrie Cazacu — Facultatea de Electrotehnică și Energetică, Institutul Politehnic din București.

**) Cu această ocazie vom observa că termenul de *turație normală* adoptat în [2] contravine sensului înregistrat de lexiconul [4], situîndu-se în advertență cu termenii de *putere nominală* și *debit nominal* din același standard.

sau $y = \Delta Y/Y_M$ (0) — deplasarea tijei servomotorului față de o poziție de referință Y_0 aleasă arbitrar.

2. Termeni relativ la regimul de funcționare permanent

2.1. Turație maximă la cursă nulă /vitesse maximale à course nulle/ /maximum speed at zero stroke/ n_{0M}(rot/min), ω_{0M}(rad/s), f_{0M}(Hz) sau $n_{0M}/n_N(0)$, $\omega_{0M}/\omega_N(0)$, $f_{0M}/f_N(0)$ — valoarea turației pentru care regulatorul este în stare de echilibru la cursa nulă a servomotorului, semnalul de comandă are valoarea sa maximă, iar statismul permanent are o valoare dată.

2.2. Turație minimă la cursă nulă /vitesse minimale à course nulle//minimum speed at zero stroke/ n_{0m}(rot/min), ω_{0m}(rad/s), f_{0m}(Hz) sau $n_{0m}/n_N(0)$, $\omega_{0m}/\omega_N(0)$, f_{0m}/f_N (0) — valoarea turației pentru care regulatorul este în stare de echilibru la cursa nulă a servomotorului, semnalul de comandă are valoarea sa minimă, iar statismul permanent are o valoare dată.

2.3. Turație maximă la deschidere completă /vitesse maximale à pleine ouverture/ /maximum speed at maximum stroke/ n_{yM} (rot/min), ω_{yM}(rad/s), f_{yM}(Hz) sau $n_{yM}/n_N(0)$, $\omega_{yM}/\omega_N(0)$, f_{yM}/f_N (0) — valoarea turației pentru care regulatorul este în stare de echilibru la cursa maximă a servomotorului, semnalul de comandă are valoarea sa maximă, iar statismul permanent are o valoare dată.

2.4. Turație minimă la deschidere completă /vitesse minimale à pleine ouverture/ /minimum speed at maximum stroke/ n_{ym}(rot/min), ω_{ym} (rad/s), f_{ym}(Hz) sau $n_{ym}/n_N(0)$, $\omega_{ym}/\omega_N(0)$, $f_{ym}/f_N(0)$ — valoarea turației pentru care regulatorul este în stare de echilibru la cursa maximă a servomotorului, semnalul de comandă are valoarea sa minimă, iar statismul permanent are o valoare dată.

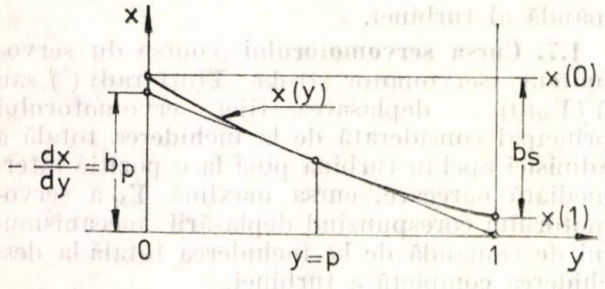


Fig. 1.

2.5. Caracteristică de statism turație-cursă /caractéristique de statisme vitesse-course/ /speed droop graph/ — curba x (y) reprezentînd dependența vitezei relative de rotație a turbinei în funcție de cursa relativă a servomotorului, cînd regulatorul este în stare de echilibru și semnalul de comandă constant (fig. 1).

2.6. Panta statismului permanent turație-cursă /coefficient de statisme permanent vitesse-course/ /permanent speed droop /b_p= — dx/dy (0) — panta caracteristicii de statism turație-cursă într-un punct de funcționare dat (fig. 1).

2.7. Statism permanent global turație-cursă /coefficient global de statisme permanent vitesse-course/ /maximum stroke speed droop/ b_s = = x (0) — x(1) (0) — diferența dintre vitezele relative de rotație citite pe caracteristica de statism turație-cursă la închiderea completă și deschiderea totală a servomotorului, pentru un semnal de comandă dat (fig. 1).

3. Termeni relativ la regimul dinamic (mișcări mici)

3.1. Timp caracteristic răspunsului servomotorului /temps caractéristique du servomoteur/ /servomotor reponse time/ $T_y = du/d\,(dy/dt)$ (s) (fig. 2) — inversul pantei curbei reprezentînd viteza servomotorului dy/dt în funcție de deplasarea relativă u a sertarului de distribuție, raportată la o deplasare maximă specifică și plecînd din poziția neutră.

3.2. Timp caracteristic promptitudinii reglării /temps caractéristique de la promptitude/ /promptitude time constant/ $T_x = -\,dx/d(dy/dt)$ (s) — inversul pantei curbei reprezentînd viteza relativă a servomotorului dy/dt în funcție de o variație dată a vitezei de rotație x, care îi corespunde în regimul stabilit în absența statismului permanent al regulatorului.

Observație. Pentru un regulator cu statism tranzitoriu timpul caracteristic al promptitudinii este numeric egal cu produsul dintre panta statismului tranzitoriu turație-cursă b_1 și constanta de timp a reacției tranzitorii T_d (fig. 3).

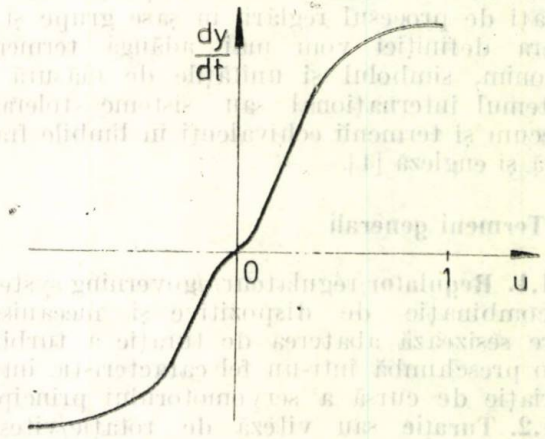


Fig. 2.

3.3. Timp de dozaj derivativ /temps de dosage de dérivation/ /derivative time con-

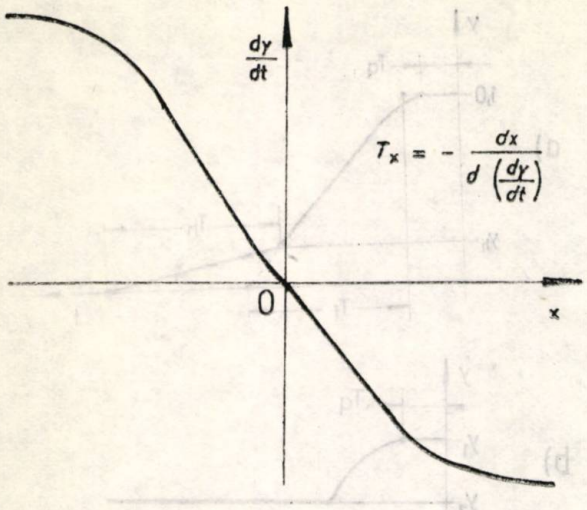


Fig. 3.

stant/ $T_n = -x_1/(dx/dt)_1$ (s) — raportul dintre variaţia vitezei de rotaţie x_1 şi acceleraţia $(dx/dt)_1$ în absenţa reacţiilor permanente şi tranzitorii şi în momentul în care mişcarea servomotorului se inversează (fig. 4).

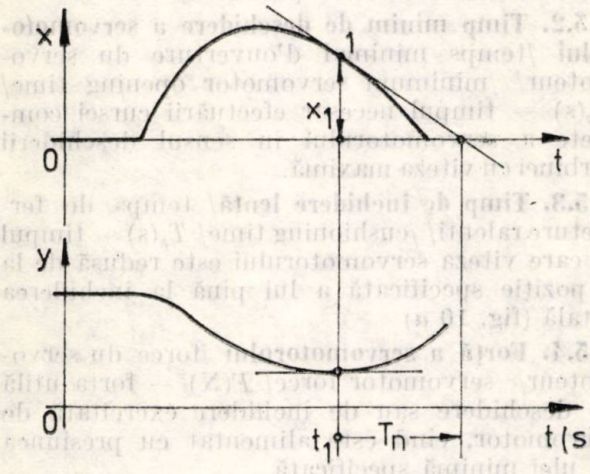


Fig. 4.

3.4. Timp caracteristic reacţiei tranzitorii sau dispozitivului de amortizare/constante de temps de la réaction transitoire/ /time constant of the damping device/ T_d(s) — timp caracterizînd amortizarea semnalului de reacţie tranzitorie provenind de la poziţia servomotorului (fig. 5).

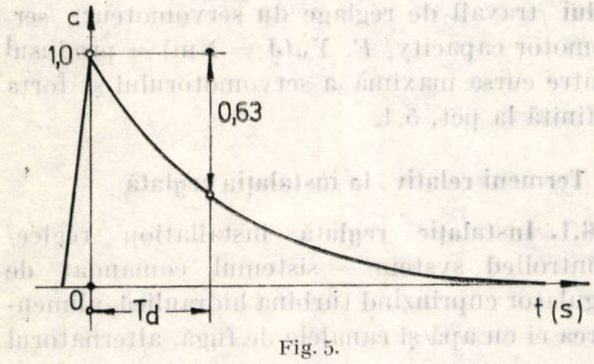


Fig. 5.

3.5 Panta statismului tranzitoriu turaţie-cursă/coefficient de statisme transitoire vitesse-course/ /temporary speed droop/ $b_t = -dx/dy$ (0) — panta statismului viteză de rotaţie-cursă, definită ca la punctul 2.6., în cazul cînd se suprimă amortizarea reacţiei tranzitorii şi se elimină reacţia permanentă (fig. 6).

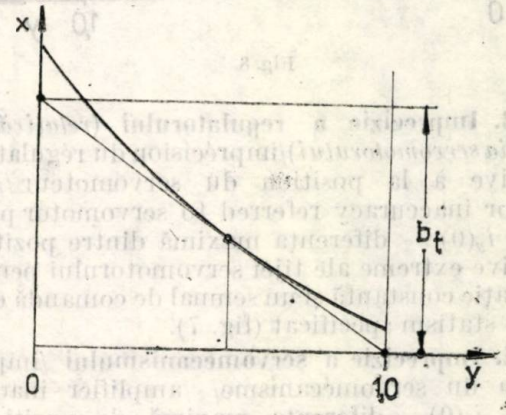


Fig. 6.

4. Termeni relativ la nelinearităţi

4.1. Banda de insensibilitate a turaţiei /zone morte de vitesse/ /speed dead band/ $i_x(0)$ — diferenţa maximă între două valori ale vitezei relative de rotaţie între care reglajul nu intervine, semnalul de comandă fiind constant (fig. 7); $i_x/2$ se numeşte insensibilitatea turaţiei.

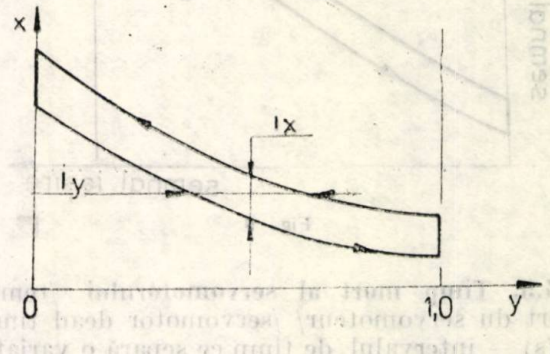


Fig. 7.

4.2. Banda de insensibilitate a semnalului de comandă /zone morte du signal de commande/ /command signal dead band/ $i_c(0)$ — diferenţa maximă dintre două valori ale semnalului relativ de comandă între care reglajul nu intervine turaţia fiind constantă (fig. 8). Jumătatea acestei distanţe se numeşte insensibilitatea semnalului de comandă.

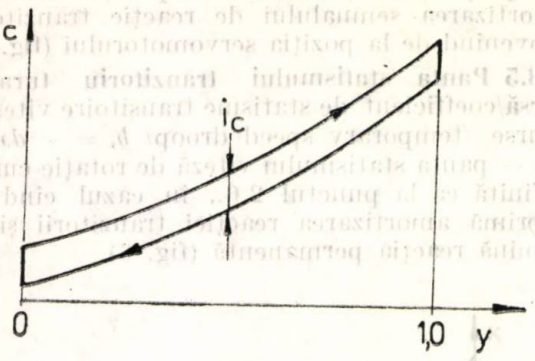


Fig. 8.

4.3. Imprecizie a regulatorului (*relativă la poziția servomotorului*)/imprécision du régulateur relative à la position du servomoteur //governor inaccuracy referred to servomotor position/ $i_y(0)$ — diferența maximă dintre pozițiile relative extreme ale tijei servomotorului pentru o turație constantă și un semnal de comandă dat, la un statism specificat (fig. 7).

4.4. Imprecizie a servomecanismului /imprécision du servomécanisme/ /amplifier inaccuracy/ $i_a(0)$ — diferența maximă de poziție a elementului de ieșire ce poate să apară pentru o poziție constantă a elementului de intrare (fig. 9).

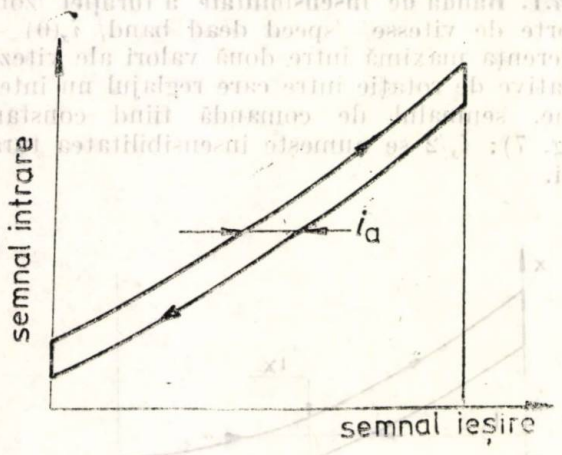


Fig. 9

4.5. Timp mort al servomotorului /temps mort du servomoteur/ /servomotor dead time/ T_q(s) — intervalul de timp ce separă o variație de un anumit tip a vitezei de rotație sau a semnalului de comandă de primul moment detectabil al servomotorului rezultînd din această variație (fig. 10 *a* și *b*).

5. Comportare la perturbații mari

5.1. Timp minim de închidere a servomotorului /temps minimal de fermeture du servomoteur/ /minimum servomotor closing time/

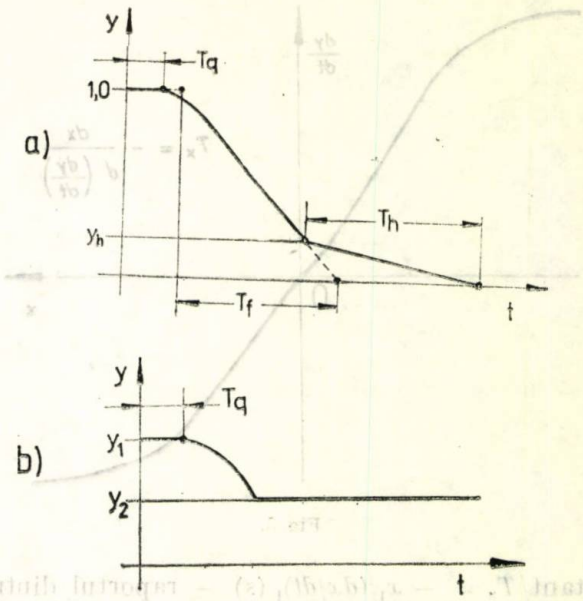


Fig. 10.

T_f(s) — timpul necesar efectuării cursei complete a servomotorului în sensul închiderii turbinei cu viteza maximă (fig. 10 *a*).

5.2. Timp minim de deschidere a servomotorului /temps minimal d'ouverture du servomoteur/ /minimum servomotor opening time/ T_g(s) — timpul necesar efectuării cursei complete a servomotorului în sensul deschiderii turbinei cu viteza maximă.

5.3. Timp de închidere lentă/ temps de fermeture ralenti/ /cushioning time/ T_h(s) — timpul în care viteza servomotorului este redusă de la o poziție specificată a lui pînă la închiderea totală (fig. 10 *a*)

5.4. Forță a servomotorului /force du servomoteur/ /servomotor force/ F(N) — forța utilă de deschidere sau de închidere exercitată de servomotor, cînd este alimentat cu presiunea de ulei minimă specificată.

Observație. Cînd se utilizează presiunea apei din conducta forțată pentru exercitarea efortului de închidere, se va prescrie căderea pentru care servomotorul va fi dimensionat. Pentru servomotoarele cu resort, aceasta este forța utilă (netă) exercitată de servomotor cînd resortul este destins la maximum.

5.5. Lucrul mecanic de reglaj al servomotorului /travail de réglage du servomoteur/ /servomotor capacity/ $F.Y_M$(J = Nm) — produsul dintre cursa maximă a servomotorului și forța definită la pct. 5.4.

6. Termeni relativ la instalația reglată

6.1. Instalație reglată installation réglée/ /controlled system/ — sistemul comandat de regulator cuprinzînd turbina hidraulică, alimentarea ei cu apă și canalele de fugă, alternatorul

cu regulatorul său de tensiune și rețeaua electrică la care este conectat.

6.2. Putere utilă a alternatorului /puissance fournie par l'alternateur/ /power output of the generator/ $P(W)$ sau $p = P/P_G(0)$ — puterea electrică insantanee la bornele alternatorului.

6.3. Variație a puterii /écart de puissance/ /power output deviation/ $\Delta P = P - P_0$ (W) sau $\Delta p = \Delta P/P_G(0)$ — diferența de putere față de o valoare de referință P_0 aleasă arbitrar.

6.4. Variație de cuplu /écart de couple/ /torque deviation/ $\Delta M = \Delta P/\omega$ (W/rad/s) sau $\Delta m = \Delta P\omega_G/P_G\omega$ (0) — variația de putere raportată la viteza unghiulară instantanee.

6.5. Timp de demaraj al sistemului rotitor (al grupului)/temps caractéristique de l'inertie mécanique du groupe/ /unit acceleration constant/ $T_a = I_g\,\omega_G/M_G$(s) — momentul de inerție al grupului rotitor înmulțit cu viteza unghiulară garantată și raportat la cuplul garantat.

6.6. Timp caracteristic inerției sarcinii /temps caractéristique de l'inertie mécanique de la charge/ /load acceleration constant/ $T_b = I_s\omega_G/M_G$(s) — momentul de inerție provenind din rețea înmulțit cu viteza unghiulară garantată și raportat la cuplul garantat.

6.7. Coeficient de moment al turbinei /coefficient de couple de la turbine/ /turbine control transmission ratio/ $e_y = dm_t/dy$ — panta locală a curbei reprezentînd cuplul relativ al turbinei m_t la turație și cădere constante, în funcție de poziția relativă y a tijei servomotorului (fig. 11).

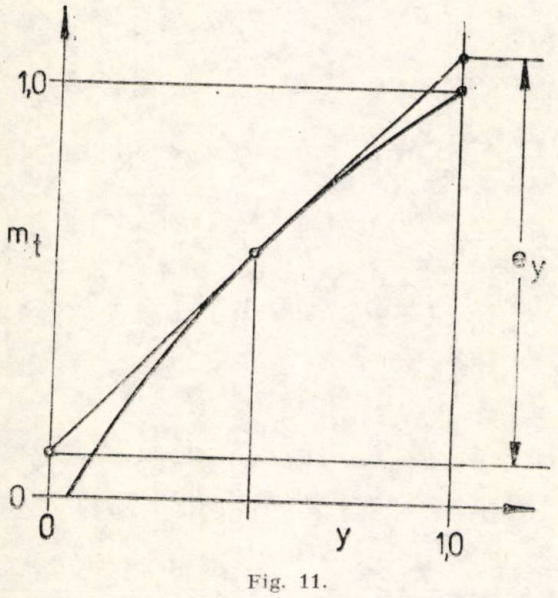


Fig. 11.

6.8. Caracteristică de statism turație-putere /caractéristique de statisme vitesse-puissance/ /speed regulation graph/ — curba reprezentînd viteza relativă de rotație în funcție de puterea relativă, cînd regulatorul este în echilibru și semnalul de comandă constant.

6.9. Pantă a statismului permanent turație-putere /coefficient de statisme permanent vitesse-puissance/ /permanent speed regulation/ $e_p = -dx/dp$ (0) — panta caracteristicii de statism viteză de rotație-putere într-un punct de funcționare dat.

6.10 Statism permanent global turație-putere /coeficient global de statisme permanent vitesse-puissance/ /maximum power change speed regulation/ $e_s = x(0) - x(p_G)$ (0) — diferența dintre vitezele relative de rotație citite pe caracteristica de statism turație-putere, la putere nulă și putere garantată, pentru un semnal de comandă specificat.

6.11. Grad de autoreglare a instalației /coefficient d'autoréglage de l'installation réglée//controlled system self-regulation factor/ $e_u = e_t + e_g(0)$ — panta dintre cele două curbe reprezentînd cuplul turbinei și al generatorului, raportate la cuplul garantat P_G/ω_N, în funcție de viteza de rotație raportată la viteza nominală ω_N, pentru o poziție dată a servomotorului și o condiție dată de sarcină a rețelei (fig. 12).

6.12. Grad de autoreglare a turbinei /coefficient d'autoréglage de la turbine/ /turbine self-regulation factor/ $e_t = dm_t/dx$ (0) — panta curbei reprezentînd cuplul turbinei raportat la cuplul garantat P_G/ω_N în funcție de viteza de rotație raportată la viteza nominală ω_N, pentru o poziție dată a servomotorului și o condiție dată de sarcină a rețelei (fig. 12).

6.13. Grad de autoreglare a sarcinii /coefficient d'autoréglage de la charge / /load self-regulation factor / $e_g = dm_g/dx$ (0) — panta curbei reprezentînd cuplul generatorului raportat la cuplul garantat P_G/ω_N în funcție de viteza de rotație raportată la viteza nominală ω_N pentru o poziție dată a servomotorului și o condiție dată de sarcină a rețelei (fig. 12).

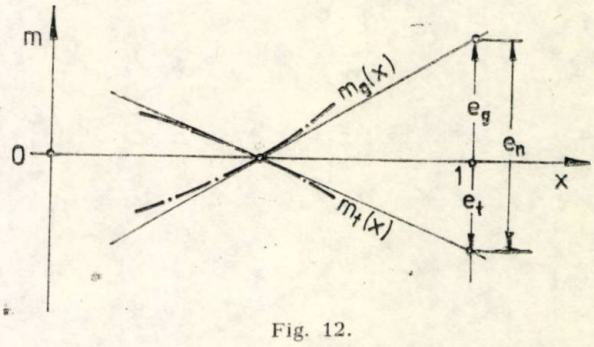


Fig. 12.

6.14. Coeficient caracteristic sarcinii rețelei /coefficient caractéristique de la charge du réseau/ /network load characteristic/ $e_b =$

$=(\Delta P/P_1/x) -1$ (0) — raportul dintre variația relativă a puterii, raportată la puterea reală P_1 absorbită de rețea și variația relativă a vitezei de rotație, mai puțin unitatea.

6.15. Timp de reflectare /temps caractéristique d'onde/ /penstock reflection time/ $T_r = 2 \sum_i \frac{L_i}{a_i}$ (s) — timpul necesar undei de presiune să parcurgă de două ori lungimea conductei forțate cu viteza sunetului a_i pe tronsoanele ei de lungimi L_i.

6.16. Timp de pornire a conductei /temps caractéristique de l'inertie hydraulique/ /water inertia time/ $T_p = \frac{Q_G}{gH_G} \sum_i \frac{L_i}{A_i}$ — timp caracteristic inerției apei din conductă, avînd secțiunile A_i pe tronsoanele de lungimi L_i, calculat cu debitul și căderea garantate.

6.17. Număr caracteristic loviturii de berbec /chiffre caractéristique de la conduite forcée (constante d'Allievi) / /water hammer number (Allievi constant) /$h_v = T_p/T_r(0)$ — raportul dintre timpul de pornire și cel de reflectare în condițiile garantate.

6.18. Variație maximă instantanee a turației /variation maximale instantanée de vitesse/ /maximum momentary speed variation/ $\Delta x_{max} = (n_{max} - n_i)/n_i = (\omega_{max} - \omega_i)/\omega_i = (f_{max} - f_i)/f_i$ (0) — variația maximă instantanee a vitezei de rotație ca urmare a unei variații bruște de sarcină de valoare dată (fig. 13).

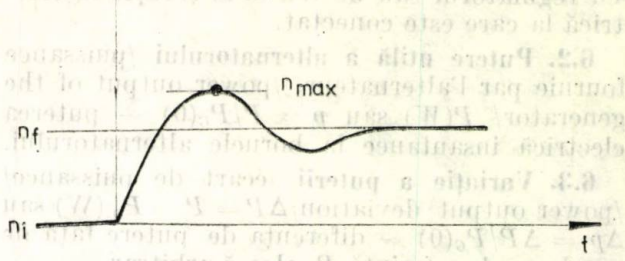


Fig. 13.

6.19. Variație maximă instantanee a presiunii /variation maximale instantanée de pression/ /maximum momentary pressure variation/ ΔH_{max}(N/m²) — variația maximă instantanee a presiunii ca urmare a unei variații bruște de sarcină de valoare dată.

Bibliografie

[1] * *Code international d'essai des régulateurs de vitesse pour turbines hydrauliques.* Publication 308, première édition, 1970. Recommandation de la Commission Électrotechnique Internationale. Genève, Suisse.

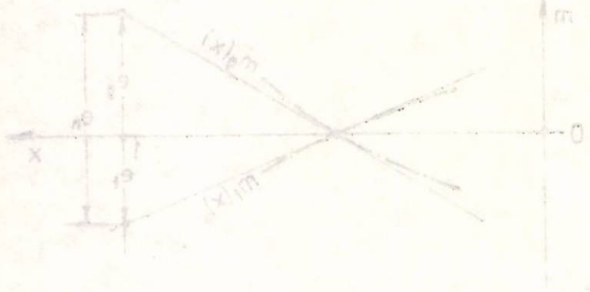
[2] *STAS 7100—70. Turbine hidraulice. Terminologie, simbolizare, domenii de utilizare.*

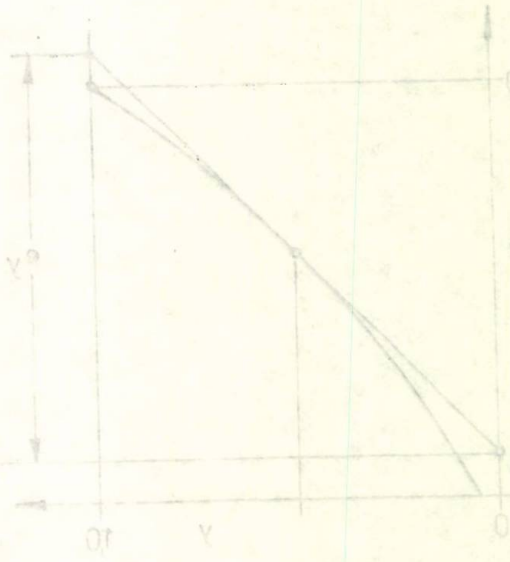
[3] *STAS 7215—80. Pompe centrifuge și instalații de pompare. Terminologie, simboluri și unități de măsură.*

[4] * *Lexiconul tehnic român.* Ed. Tehnică, 1950—1955.

[5] * *Energy Terminology. A multi-lingual Glossary,* 2nd. Edition, Pergamon Press, London, U.K.

(Primit la 22 septembrie 1988, acceptat la 16 decembrie 1988)





100 de ani de la nașterea lui Emil Prager

În cadrul Consiliului Național al Inginerilor și Tehnicienilor la 4 noiembrie 1988 a avut loc o adunare comemorativă a 100 de ani de la nașterea lui Emil Prager.

În prezența unei numeroase asistențe cîțiva dintre cei care l-au cunoscut mai bine pe Emil Prager, în diferite etape *, au relevat faptul că viața sa, aproape centenară, a fost plină de remarcabile realizări tehnice. A fost amintit începutul activității sale ca proiectant (1921 — 1925), iar apoi ca executant (1925 — 1948). În scurt timp ing. Emil Prager a devenit unul dintre principalii constructori din țară, unanim recunoscut pentru capacitatea sa tehnică, pentru seriozitate, pentru calitatea deosebită a lucrărilor executate. Numele Prager devenise o garanție pentru beneficiari, dovadă, marele număr de construcții care i-au fost încredințate pentru executare.

Chiar și acea perioadă de început a fost marcată de lucrări de excepție ca, de exemplu, ridicarea unui monument istoric de 3,5 m în comuna Rebegești, devenit necesar în urma amenajării lacului Buftea, lucrările de refacere a clădirii Ateneului Român, ca urmare a avariilor suferite în urma bombardamentelor aeriene din 1944 etc. Tot în acea perioadă a participat și la realizarea unor obiective energetice ca, de exemplu, centralele termoelectrice Florești, Schitu Golești, Aghirești.

S-a amintit că de la 1 ianuarie 1951, Emil Prager a activat în sectorul energetic, în conducerea antreprizei Energoconstrucția și apoi în calitate de consilier expert în Direcția Tehnică a Ministerului Energiei Electrice, timp de aproape 25 de ani. În anul 1951, la mai puțin de doi ani de la începerea primelor construcții energetice, munca pe șantiere întîmpina o serie de greutăți, datorită, pe de o parte, specificului nou al lucrărilor și, pe de altă parte, lipsei de cadre cu experiență. Pe atunci Energoconstrucția dispunea de 3—4 ingineri cu mai mult de 10 ani de activitate, celilalți ingineri fiind tineri absolvenți. Prezența lui Emil Prager cu bogata sa experiență și cu capacitatea sa de înțelegere și de rezolvare a problemelor a constituit un ajutor imens în organizarea șantierelor, astfel încît să fie capabile să îndeplinească sarcinile primite. De asemenea, în problemele deosebite de proiectare, Energoconstrucția a făcut apel la Emil Prager.

Tinerele cadre au învățat de la el că orice problemă tehnică trebuie analizată în profunzime, folosind simultan experiența proprie și cunoștințele dobîndite din literatura de specialitate, precum și metodele de optimizare economică. În acest fel soluțiile vor putea fi în marea majoritate a cazurilor corecte din punct de vedere tehnic și eficiente din punct de vedere economic.

Unii vorbitori au subliniat și accentuat preocupările sale pentru formarea tinerilor ingineri, cărora le-a încurajat inițiativa, le-a acordat încrederea, pe care i-a urmărit în activitate lăsîndu-i să se lovească de obstacole, dar ajutîndu-i să le învingă, totdeauna dîndu-le impresia că s-au descurcat singuri, că soluțiile și succesul le aparține.

Contribuția sa a fost substanțială și în cadrul activității sale ca membru al Consiliului Tehnic al Ministerului Energiei Electrice, analizele și argumentările sale fiind exemplu de probitate tehnică și științifică.

Lucrarea sa „Betonul armat în România", întocmită spre sfîrșitul vieții ca o încununare a activității sale, rămîne o lucrare de referință pentru istoria construcțiilor din țara noastră.

Preocuparea pentru calitatea construcțiilor executate a fost la Emil Prager esențială, astfel că se poate spune că la el realizarea tehnică s-a apropiat de artă.

Calitățile sale au fost puse în general în slujba progresului tehnic, spre folosul întregii colectivități.

(Prelucrare după luările de cuvînt la adunarea comemorativă cu ocazia împlinirii a 100 de ani de la nașterea lui Emil Prager)

* Dr. ing. Călin Mihăileanu, prof. emerit Alexandru Gheorghiu, ing. Alexandru Hristoforov, ing. Alexandru Florești-eanu, ing. Constantin Erbiceanu, ing. Niculae Noica și ing. Paul Cartianu.

СОДЕРЖАНИЕ

ЭНЕРГЕТИКА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

МИРЧА ДИАКОНЕСКУ, ГЕОРГЕ СЭВИТЕСКУ, КОРНЕЛИУ ХУЦАНУ, ГЕОРГЕ ИЖАК, ГЕОРГЕ ЧЕПОЮ, ХОРАЦИУ ЗЭРНЕСКУ, КЭЛИН МИХЭЙЛЯНУ, ДОРИН ПОТЛОГ: Автоматические установки для контроля и поддержания в действии промышленных электроприводов с синхронными двигателями при кратковременных возмущениях 49—55

ТИТУС ДОРУ ХАЦИЕГАН: Математическая модель оптимизации удельных расходов энергии 56—60

РАЗВИТИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

ПАВЕЛ БУХУШЬ, ГЕОРГЕ КОМЭНЕСКУ: К вопросу об оценке суммарного транзита нагрузки W_S 61—63

ГИДРОЭЛКТРОСТАНЦИИ

НИКОЛАЕ ШОРЯ, ПЕТРУ ДЫРВАСЭ, МАРИЯ ШОРЯ, ИОНЕЛ ПОПА, ЛЕОПОЛЬД ХРУСТОВИЧ: Гидроэнергетический потенциал уезда Ботошань и возможности его использования 64—65

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СЕТИ

ДОРИН КРИСТЕСКУ, СОРИН КОАТУ: Возможности повышения экономичности передачи электроэнергии посредством компактизации линий 66—76

НОВЫЕ ИСТОЧНИКИ И ТЕХНОЛОГИИ

ИОАН КАРАБОГДАН, ВИКТОР АТАНАСОВИЧ, ВАСИЛЕ АНГЕЛУЦЭ, КАМЕЛИЯ БОРШАН: Технико-экономические аспекты рекуперации тепла газов сгорания 77—82

ИОН БЕРИНДАН, РЕКА КОВАЧ-ДОБОУЙ, ТИБЕРИУ МОЛНАР, ЮЛИУ РОСТАС: Древесные отходы и энергетическая фитомасса как источники углеводородов 83—86

ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ТЕРМИНОЛОГИЯ

МИРЧА-ДИМИТРИЕ КАЗАКУ: Терминология, связанная с регуляторами скорости вращения гидравлических турбин 87—92

НОВОСТИ

ИЗ МИРОВОЙ ЕНЕРГЕТИКИ 76, 86

ПЕРСОНАЛИИ 93

SOMMAIRE

L'ÉNERGIE DANS L'ENTREPRISE

MIRCEA DIACONESCU, GHEORGHE SAVITESCU, CORNELIU HUȚANU, GHEORGHE IJAC, GHEORGHE CEPOIU, HORAȚIU ZĂRNESCU, CĂLIN MIHĂILEANU, DORIN POTLOG : Installations automatiques de contrôle et de maintien en fonctionnement des commandes électriques industrielle à moteurs synchrones pendant des perturbations de courte-durée 49—55

TITUS DORU HAȚIEGAN : Un modèle mathématique pour l'optimisation des consommations spécifiques d'énergie 56—60

DÉVELOPPEMENT DES RÉSEAUX D'ÉNERGIE

PAVEL BUHUȘ, GHEORGHE COMĂNESCU : Sur l'estimation de transit total de charge 61—63

CENTRALES HYDRAULIQUES

NICOLAE ȘOREA, PETRU DÂRVASĂ, MARIA ȘOREA, IONEL POPA, LEOPOLD HRISTOVICI : Le potential hydroénergétique de la région Botoșani et les possibilités de sa mise en valeur 64—65

RÉSEAU ET POSTES ÉLECTRIQUES

DORIN CRISTESCU, SORIN COATU : Possibilités d'accroître l'économicité du transport de l'énergie électrique par le compactage des lignes électriques 66—76

NOUVELLES SOURCES ET TECHNOLOGIES ÉNERGÉTIQUES

IOAN CARABOGDAN, VICTOR ATHANASOVICI, VASILE ANGHELUȚĂ, CAMELIA BORȘAN : Aspects techniques -économiques de la récupération de la chaleur des gaz de combustion 77—82

ION BERINDAN, REKA NOVACS-DOBOLYI, TIBERIU MOLNAR, IULIU ROSTAS : Les déchets de bois et la phytomasse énergétique—une source de hydrocarbures 83—86

TERMINOLOGIE ÉNERGÉTIQUE

MIRCEA -DIMITRIE CAZACU : Sur la terminologie concernant les régulateurs de vitesse des turbines hydrauliques 87—92

NOUVEAUTÉS

L'ÉNERGIE DANS LE MONDE 76, 86

DE PERSONIS 93

INHALT

DIE ENERGIEWIRTSCHAFT IN INDUSTRIEBETRIEBEN

MIRCEA DIACONESCU, GHEORGHE SAVITESCU, CORNELIU HUȚANU, GHEORGHE IJAC, GHEORGHE CEPOIU, HORAȚIU ZĂRNESCU, CĂLIN MIHĂILEANU, DORIN POTLOG: Automatische Anlagen zur Überwachung und in Betrieb halten der industriellen elektrischen Antrieben mit Synchronmotoren während kurzzeitigen Störungen *(mit einer Kurzfassung in Englisch)* 49—55

TITUS DORU HAȚIEGAN: Ein mathematisches Modell zur Optimierung der spezifischen Energieverbräuche 56—60

DIE ENTWICKLUNG DER ENERGIESYSTEME

PAVEL BUHUȘ, GHEORGHE COMĂNESCU: Zur Auswertung der totalen Ladungsübertragung W_S 61—63

WASSERKRAFTWERKE

NICOLAE ȘOREA, PETRU DÂRVASĂ, MARIA ȘOREA, IONEL POPA, LEOPOLD HRISTOVICI: Das Wasserkraftwerkspotential des Kreises Botoșani und seine Verwertungsmöglichkeiten 64—65

ELEKTRISCHE NETZE

DORIN CRISTESCU, SORIN COATU: Möglichkeiten zur Erhöhung der Wirtschaftlichkeit der Elektroenergieverteilung mit Hilfe kompakter Leitungen 66—76

NEUE ENERGIEQUELLEN UND -VERFAHREN

IOAN CARABOGDAN, VICTOR ATHANASOVICI, VASILE ANGHELUȚĂ, CAMELIA BORȘAN: Technisch-wirtschaftliche Aspekte der Rückgewinnung der Rauchgaswärme 77—82

IOAN BERINDAN, REKA KOVACS-DOBOLYI, TIBERIU MOLNAR, IULIU ROSTAS: Die Holzreste und die energiewirtschaftliche Phytomasse -als Kohlenwasserstoffquellen 83—86

TERMINOLOGIE IN DER ENERGIEWIRTSCHAFT

MIRCEA-DIMITRIE CAZACU: Über die Begriffe in dem Bereich der Geschwindigkeitsregler für hydraulische Turbinen 87—92

NEUIGKEITEN

DIE ENERGIEWIRTSCHAFT WELTWEIT 76, 86

DE PERSONIS 93

CONTENTS

ENERGY IN THE ENTERPRISES

MIRCEA DIACONESCU, GHEORGHE SAVITESCU, CORNELIU HUȚANU, GHEORGHE IJAC, GHEORGHE CEPOIU, HORAȚIU ZĂRNESCU, CĂLIN MIHĂILEANU, DORIN POTLOG: Automatic Facilities for the Survey and Maintaining in Operation of Industrial Electric Drives with Synchronous Motors During Short-term Disturbances *(with a short presentation in English)* 49—55

TITUS DORU HAȚIEGAN: Mathematical Model for Specific Energy Consumption Optimization 56—60

ENERGY SYSTEMS DEVELOPMENT

PAVEL BUHUȘ, GHEORGHE COMĂNESCU: Regarding the Total Load Transit W_S Estimation 61—63

HYDROELECTRIC POWER PLANTS

NICOLAE ȘOREA, PETRU DÂRVASĂ, MARIA ȘOREA, IONEL POPA, LEOPOLD HRISTOVICI: The Hydropower Potential of the Botoșani District and Revaluation Possibilities 64—65

ELECTRIC GRIDS

DORIN CRISTESCU, SORIN COATU: Possibilities to Improve the Electric Energy Economical Transmission by Line Compactization 66—76

NEW ENERGY SOURCES AND TECHNOLOGIES

IOAN CARABOGDAN, VICTOR ATHANASOVICI, VASILE ANGHELUȚĂ, CAMELIA BORȘAN: Technical-economic Aspects of the Flue Gases Heat Recovery 77—82

ION BERINDAN, REKA KOVACS-DOBOLYI, TIBERIU MOLNAR, IULIU ROSTAS: Wood Wastes and Energetic Phytomass as Hydrocarbons' Sources 83—86

ENERGY TERMINOLOGY

MIRCEA-DIMITRIE CAZACU: Upon the Terminology for Speed Governors for Hydraulic Turbines 87—92

NEWS

ENERGY WORLDWIDE 76, 86

DE PERSONIS 93

ORSZÁGOS MŰSZAKI INFORMÁCIÓS KÖZPONTES KÖNYVTÁR 1883

COLEGIUL DE REDACȚIE

Președinte, redactor responsabil: **dr. ing. Eugeniu Pavel**
Redactori responsabili adjuncți: **dr. ing. Mihai G. M. Pop, dr. ing. Gheorghe Bălan, ing. Radu Opincaru**
Secretar de redacție: **dr. ing. Teodor Popa**
Gestiunea financiară: **ec. Pompiliu Silvășanu**

Orientări în energetică: **dr. ing. Mario Duma**
Energetica în unități economice: **ing. Ion Măiereanu, ing. Alexandru Florescu**
Dezvoltarea sistemelor energetice: **dr. ing. Nicolae Armencoiu, dr. ing. George Manolescu**
Conducerea și automatica SE: **dr. ing. Victor Romert, dr. ing. Jean Constantinescu**
Centrale termoelectrice: **conf. dr. ing. Costin Moțoiu, ing. Romeo Zbarcea**
Centrale hidroelectrice: **dr. ing. Gheorghe Luca**
Centrale nuclearoelectrice: **ing. Adrian Georgescu, prof. dr. ing. Nicolae Dănilă, ing. Mircea Tarța**
Rețele electrice: **ing. Dinu Voinea, ing. Nicolae Georgian**
Alimentare cu căldură: **ing. Nicolae Niculescu**
Surse și tehnologii noi: **ing. Constantin Popescu**
Tehnologii chimice în energetică. Poluare: **dr. chim. Maria Maftei**
Organizarea producției și a muncii: **ing. Miron Popescu**
Terminologia energetică: **dr. ing. Iosif Cserveny**
Noutăți: **ing. Mihai Nistor, ing. Romulus Sfichi**
Centre universitare și industriale:
București: **conf. dr. ing. Alexandru Selischi**
Iași: **prof. dr. ing. Alexandru Poeată**
Timișoara: **prof. dr. ing. Viorel Negru**
Cluj-Napoca: **conf. dr. ing. Silviu Darie**

Acest număr a fost realizat cu ajutorul următorilor secretari ai grupelor de specialitate:

— **ing. Angela Perea** — Energetica în unități economice
— **ing. Anton Vlădescu** — Dezvoltarea sistemului energetic
— **dr.hidrol. Gheorghe Popa** — Centrale hidroelectrice
— **dr. ing. Traian-G. Ionescu** — Rețele electrice
— **ing. Ion Turcu** — Surse și tehnologii noi
— **filolog Roxana Marin** — Terminologia energetică

Revista „ENERGETICA" este editată și administrată de Institutul de Cercetări și Modernizări Energetice prin Oficiul de Informare Documentară pentru Energetică. **Vasile Pleșca** — șef OIDE, **Ana Maria Chivu** — redactor

Revista ENERGETICA — publicație lunară, reflectă preocupările spirituale și realizările materiale în domeniul energeticii. Funcționează în conformitate cu *ROF* aprobat cu Ordinul nr. 97/1987, publicat în numărul 4/87 al revistei.

Elaboratorii de lucrări propuse pentru publicare sînt rugați să consulte **„Îndrumările pentru întocmirea și prezentarea lucrărilor propuse pentru a fi publicate în revista Energetica", „Ghidul pentru avizarea lucrărilor propuse pentru a fi publicate în revista Energetica"** apărute în numărul 12/86, precum și **„Planul tematic al revistei Energetica pe anii 1987—1990"** publicat în nr. 5/1987 al revistei.

Abonamentele pot fi achitate în contul de virament nr. 30.11.8.01.01 — BN R.S.R. fil. sector 3, sau direct la redacție. Costul unui abonament anual: 144 lei; costul unui exemplar: 12 lei.

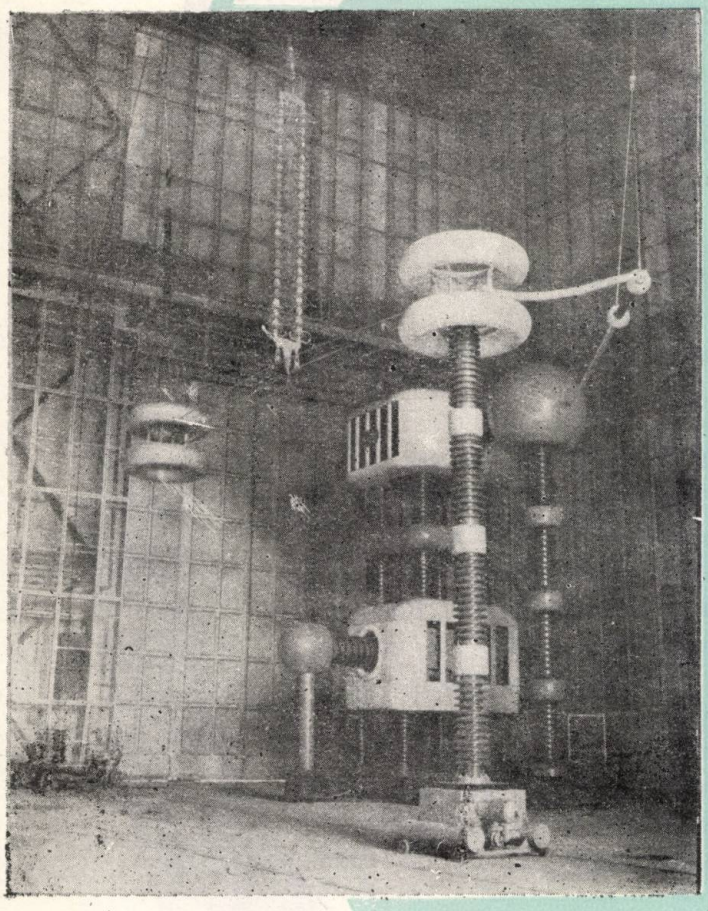
41 401

ANNOUNCEMENTS FOR READERS ABROAD

- **The review "Energetica" can send on request from publications abroad reports translated in one of the worldwide spoken languages**
- **The review "Energetica" proposes a publication exchange with similar reviews and in relating fields**
- **The review "Energetica" provides and publishes or introduces books on energy received at the editorial office. Reviews and presentations of books sent on this purpose to the editorial office can be published as well**
- **The review "Energetica" publishes on request from authors abroad reports of other materials: technical and scientific news, inventions-innovations, information about technical and scientific symposia, etc. written in one of the worldwide spoken languages**
- **Readers from abroad can subscribe through: ROMPRESFILATELIA — sectorul import-export, P.O. Box 12—201, telex 10376 prsfir, Calea Griviței nr. 64—66, București — România.**

Tiparul: Întreprinderea Poligrafică „Informația", București, str. Brezoianu 23—25 c. 1081

ICEMENERG



Secţia de echipamente şi materiale electroenergetice (SEM) împreună cu Atelierul de service pentru tehnica tensiunilor înalte (ASTTI) în strînsă colaborare cu unităţile din cadrul CIRE execută :

Cercetări privind :

. coordonarea izolaţiei ,
. noi structuri izolante ;
. supratensiunile interne şi atmosferice în reţelele electrice de 10 - 750 kV ;
. tehnologii de mentenanţă şi tratare a izolaţiei în exploatare ;
realizarea de instalaţii complexe specializate mobile sau fixe privind tratarea, încercarea şi regenerarea izolaţiei sau a echipamentelor de înaltă tensiune din exploatare.

Probe şi măsurători speciale privind :

. încercarea echipamentelor de pînă la 750 kV ,
. verificarea în vederea punerii în funcţiune a instalaţiilor de 750 kV ;
. repararea şi verificarea descărcătoarelor şi a unor treceri izolate ;
. probe şi analize speciale la echipamentele de joasă şi înaltă tensiune în fazele de omologare, recepţie şi comportare în exploatare.

ENERGOREPARAȚII

B-dul Mărășești nr. 2, sectorul 5, București.
Telefon: 23.26.40. Telex: 011635 - Coo poștal 774170

- EXECUTĂ O GAMĂ LARGĂ DE PIESE DE SCHIMB PENTRU :
  - . Turbine cu abur
  - . Turbine hidraulice
  - . Cazane de abur şi schimbătoare de căldură
  - . Ventilatoare de aer şi de gaze arse
  - . Instalaţii pentru prepararea şi transportul combustibilului
  - . Generatoare şi motoare electrice
- RECONDIȚIONEAZĂ PIESE ȘI SUBANSABLURI DE SCHIMB ALE AGREGATELOR ENERGETICE ȘI INSTALAȚIILOR AUXILIARE AFERENTE
- ACORDĂ ASISTENȚĂ TEHNICĂ SI EXECUTĂ DIFERITE ÎNCERCĂRI, MASURĂTORI ȘI LUCRĂ DE SPECIALITATE ÎN DOMENIUL VIBRAȚIILOR METALOGRAFIC, FIZICO-CHIMIC. PRECUM ȘI MODERNIZĂRI ÎN SPECIFIC
- PROIECTEAZĂ ȘI EXECUȚĂ O GAMĂ LARGĂ DE UTILAJE ȘI DISPOZITIVE PENTRU MECANIZAREA LUCRĂRILOR ÎN SECTOR, FLUXURI DE FABRICAȚIE. MACARALE TURN

1990 MAR 20

E2039

MW

REFERÁLVA

3

ENE

Cuprins

ENERGETICA ÎN UNITĂȚI ECONOMICE

LUCIA CRISTINA DUMITRIU, CĂTĂLIN DUMITRIU: **Contribuții la optimizarea funcționării consumatorilor industriali prin considerarea daunelor de calitate produse de perturbarea alimentării lor cu energie electrică** 97—102

CENTRALE TERMOELECTRICE

CONSTANTIN NEAGA: **Regimul termic al gazelor de ardere la trecerea cazanelor cu tub de flacără de la funcționarea cu hidrocarburi superioare la funcționarea cu gaz de gazogen** 103—106

CENTRALE NUCLEAROELECTRICE

VASILE POPOVICI, ALEXANDRU HRISTOFOROV, ROMEO ZBARCEA: **Transportul și manipularea echipamentului greu și/sau agabaritic la centralele termoelectrice și nuclearoelectrice** 107—115

CONSTANTIN SIMA, GEORGE MARINESCU, MARIA GHEORGHIU: **Probleme specifice de calcul economic la centralele nuclearoelectrice** 116—120

REȚELE ELECTRICE

PAUL EMIL RAȘCU: **Considerații comparative asupra stațiilor electrice de 750 kV realizate în țările membre CAER** 121—135

NOUTĂȚI

INVENȚII — INOVAȚII 136—138

CRONICA

GHEORGHE BĂLAN: **Cea de-a 32-a Sesiune a CIGRE 28 august — 3 septembrie 1988** 139—140

DIN ENERGETICA MONDIALĂ 102 120

DE PERSONIS 141

R 1989 -10- -4

energetica

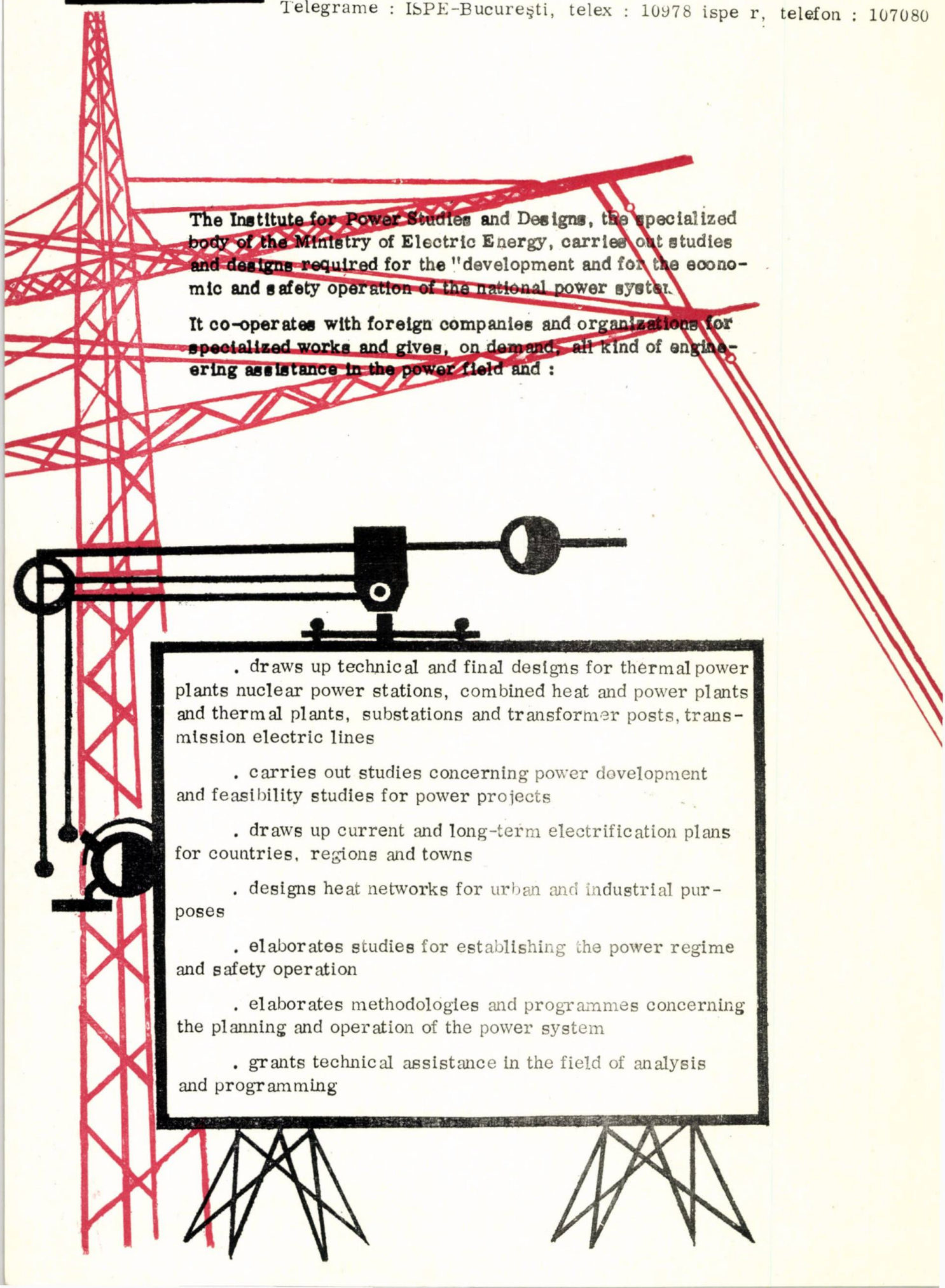
VOLUMUL XXXVII

BUCUREȘTI

MARTIE 1989

ISPE

MINISTERUL ENERGIEI ELECTRICE
INSTITUTUL DE STUDII SI PROIECTĂRI ENERGETICE
ROMANIA, 72301 Bucureşti, sector 2, Bdul Lacul Tei nr.1
Telegrame : ISPE-Bucureşti, telex : 10978 ispe r, telefon : 107080



The Institute for Power Studies and Designs, the specialized body of the Ministry of Electric Energy, carries out studies and designs required for the "development and for the economic and safety operation of the national power syster.

It co-operates with foreign companies and organizations for specialized works and gives, on demand, all kind of engineering assistance in the power field and :

. draws up technical and final designs for thermal power plants nuclear power stations, combined heat and power plants and thermal plants, substations and transformer posts, transmission electric lines

. carries out studies concerning power development and feasibility studies for power projects

. draws up current and long-term electrification plans for countries, regions and towns

. designs heat networks for urban and industrial purposes

. elaborates studies for establishing the power regime and safety operation

. elaborates methodologies and programmes concerning the planning and operation of the power system

. grants technical assistance in the field of analysis and programming

ENERGETICA

ORGAN AL MINISTERULUI ENERGIEI ELECTRICE ŞI AL CONSILIULUI NAŢIONAL AL INGINERILOR ŞI TEHNICIENILOR DIN REPUBLICA SOCIALISTĂ ROMÂNIA
SUB ÎNDRUMAREA CONSILIULUI ŞTIINŢIFIC AL INSTITUTULUI CENTRAL DE CERCETĂRI ENERGETICE

Anul 37 Nr. 3 Martie 1989

Energetica în unităţi economice

Contribuţii la optimizarea funcţionării consumatorilor industriali prin considerarea daunelor de calitate produse de perturbarea alimentării lor cu energie electrică

Ş.l. dr. ing. LUCIA CRISTINA DUMITRIU, as. dr. ing. CĂTĂLIN DUMITRIU*

Descriptori: consumatori industriali, optimizări, sisteme electroenergetice

Funcţionarea consumatorilor industriali în condiţii de abatere a parametrilor de calitate a energiei electrice de la valorile optime determină o serie de efecte tehnice asupra receptoarelor electrice, cu implicaţii economice majore.

Lucrarea prezintă o clasificare a acestor efecte la nivelul unui consumator industrial şi legăturile de tip cauzal stabilite între elementele constitutive ale procesului economico-industrial în timpul funcţionării perturbate.

Se dezvoltă un model general de calcul al daunei totale anuale produse la consumatorii industriali, ca urmare a perturbării alimentării cu energie electrică şi se prezintă în acest caz măsurile necesare pentru îmbunătăţirea funcţionării de ansamblu a instalaţiilor electroenergetice ale acestora.

The operation of industrial consumers during the deviation of the electric energy quality parameters from their optimum values determines a series of technical effects on the electric receivers and has a major economic impact.

The paper presents a classification of these effects at the level of industrial consumers as well as the causal connections between the constitutive elements of the industrial-economical process under disturbed operation.

A general computation model of the total annual loss occured at the industrial consumers in this case is presented, as well as the measures to be taken for their electric energy installations operation improvement.

Introducere

Condiţiile reale de funcţionare a instalaţiilor industriale, alimentate cu energie electrică, diferă într-o măsură însemnată de cele proiectate datorită existenţei unui număr mare de factori tehnologici, economici, psihologici, de aprovizionare cu materii prime şi materiale şi tot mai mult în ultimul timp, energetici, perturbatori atît sub aspect cantitativ, cît şi calitativ.

Proiectarea oferă o soluţie de funcţionare obţinută în urma unui proces de optimizare în care sînt neglijaţi cei mai mulţi dintre aceşti factori perturbatori dintre care unii, foarte importanţi, pot produce abateri însemnate ale eficienţei consumatorului industrial de la valorile planificate, ceea ce conduce în cele mai multe cazuri la neatingerea parametrilor planificaţi, nefolosirea integrală a capacităţilor de producţie, funcţionarea cu pierderi sau cu beneficii sensibil diminuate.

Această stare de lucruri este influenţată negativ şi de perturbările care au apărut, mai ales în ultima vreme, în funcţionarea sistemului energetic naţional şi care devin la rîndul lor sursa principală a perturbaţiilor din instalaţiile electroenergetice ale consumatorilor industriali [6, 9].

Întreruperile în alimentarea normală cu energie electrică, planificate sau intempestive, abaterile însemnate ale frecvenţei sistemului de la valoarea nominală, nivelul necorespunzător al tensiunii în multe zone de distribuţie, regi-

* Ş.l. dr. ing. Lucia Cristina Dumitriu, as. dr. ing. Cătălin Dumitriu — Facultatea de Electrotehnică şi Energetică — Institutul Politehnic, Bucureşti.

mul deformant și nesimetric al unei părți tot mai însemnate dintre receptoarele electrice afectează puternic, direct sau prin intermediul unor efecte derivate, funcționarea atît a instalațiilor energetice de alimentare, cît și a proceselor tehnologice propriu-zise [1, 2, 3, 7, 9].

Exprimarea economică a efectelor produse de aceste perturbații conduce la calculul unei daune totale anuale, în care pe lîngă dauna de întrerupere generată de gradul de fiabilitate a consumatorilor industriali a condus la împărțirea acestora în trei categorii importante (fig. 1).

a) Efecte asupra instalațiilor energetice

Toate tipurile principale de perturbații (întreruperi, abateri ale tensiunii și frecvenței, regimul deformant și nesimetric) determină în instalațiile electroenergetice ale întreprinderi apariția unor suprasarcini care ridică tempera-

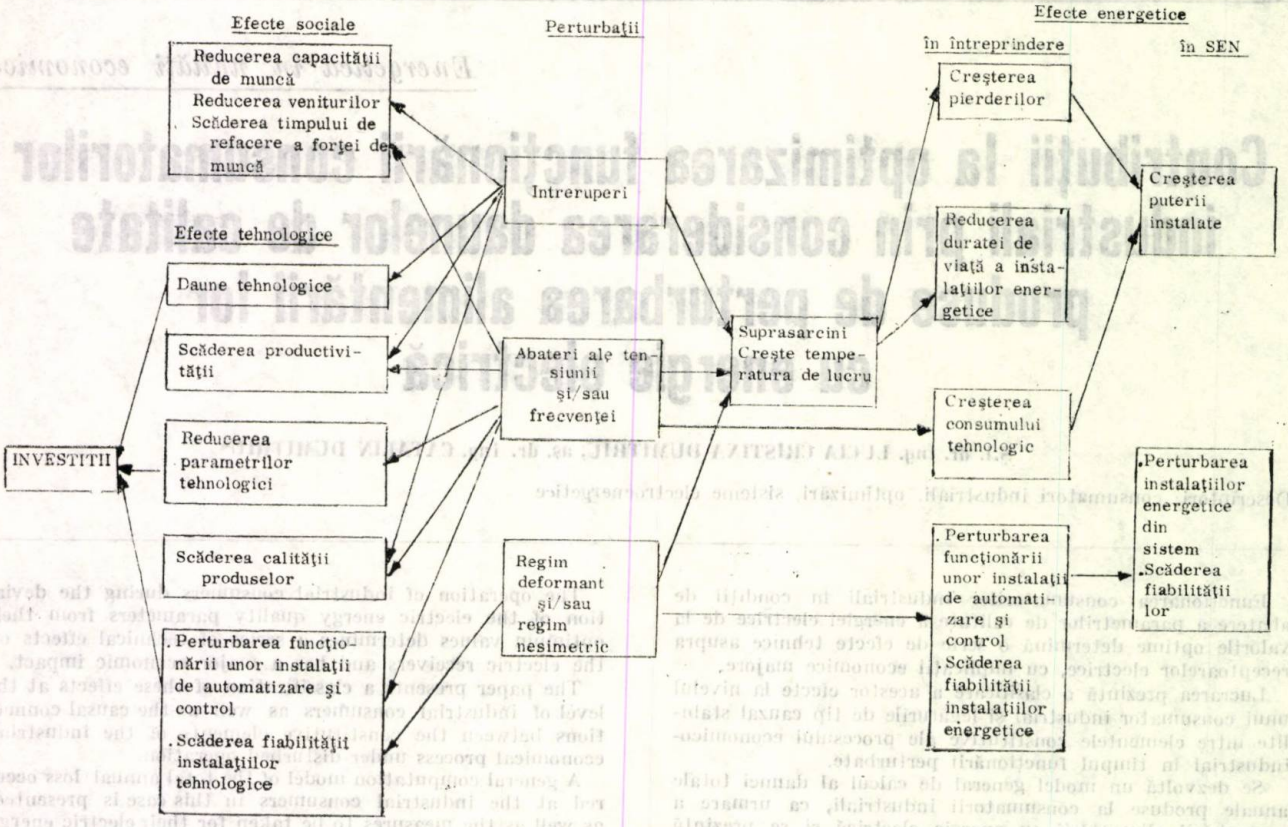


Fig. 1. Efectele perturbării alimentării cu energie electrică a consumatorilor industriali.

prestabilit al instalațiilor proiectate, apar termeni noi modelînd abaterile de la valorile nominale ale tensiunii și frecvenței, suprasarcinilor datorate creșterii coeficientului de simultaneitate, întreruperilor parțiale, regimului deformant și nesimetric etc. [9].

În condițiile menținerii unor factori perturbatori energetici pe o perioadă mai îndelungată și acumulării unei cantități semnificative de date privind regimurile reale de funcționare, se pot introduce în calculele de proiectare, cel puțin pentru perioada existenței perturbațiilor, corecții în determinarea soluției optime de funcționare.

2. Efectele perturbării alimentării cu energie electrică asupra instalațiilor energetice și tehnologice

Analiza realizată în [9] privind efectele perturbațiilor în alimentarea cu energie electrică

tura de lucru a acestora, conducînd la creșterea pierderilor (și prin creșterea rezistenței elementelor de transfer al energiei electrice) și la reducerea duratei de viață a instalațiilor.

Pe de altă parte, abaterile tensiunii și frecvenței de la valorile nominale conduc la creșterea consumului tehnologic propriu al instalațiilor de alimentare cu energie electrică, iar existența regimului deformant și nesimetric perturbă funcționarea unor instalații de măsură și control, micșorînd fiabilitatea globală a instalațiilor electroenergetice afectate.

În SEN, sînt necesare măsuri de compensare a pierderilor suplimentare prin investiții în sectorul producerii energiei electrice și a efectelor regimului deformant, mai ales pentru păstrarea gradului de fiabilitate.

b) Efecte în instalațiile tehnologice

Întreruperile produc daune tehnologice, scăderea productivității muncii și scăderea cali-

tății produselor, regimul deformant și nesimetric, prin acțiunea sa dăunătoare asupra instalațiilor electronice, de automatizare și control, scade fiabilitatea instalațiilor tehnologice.

Abaterile tensiunii și frecvenței dăunează calității produselor, determină reducerea unor parametrii tehnologici, contribuie la scăderea productivității muncii și micșorează fiabilitatea instalațiilor [9].

Pentru a se contracara efectele acestor factori perturbatori sînt necesare eforturi de investiții suplimentare în dublarea liniilor de fabricație, introducerea unor elemente suplimentare (pompe, compresoare etc.).

c) Efecte sociale

Deosebit de dăunătoare sînt și efectele sociale ale perturbațiilor alimentării cu energie electrică manifestate prin creșterea timpului de muncă necesar pentru realizarea producției planificate, înrăutățirea condițiilor de muncă a personalului muncitor, reducerea timpului de refacere a forței de muncă și diminuarea veniturilor.

3. Modelul de calcul al daunei totale anuale

Modelul propus pentru calculul acestei daune se bazează pe comparația cheltuielilor anuale totale normate pe care le suportă consumatorul industrial funcționînd în condiții proiectate (C_n), rezultate în urma unui calcul de optimizare, cu cheltuielile reale suportate de consumator în condițiile perturbării alimentării cu energie electrică (C_r).

Cheltuielile anuale totale cu energia electrică la consumator sînt :

$$C = C_{cal} + C_{alim}, \tag{1}$$

în care : C_{cal} sînt cheltuielile datorate perturbării calității alimentării cu energie electrică (cheltuieli de calitate);

C_{alim} — cheltuielile de alimentare.

a) Cheltuielile de calitate pot fi normate ($C_{cal,n}$) și reale ($C_{cal,r}$) și se definesc prin :

$$C_{cal,n} = D_{t,n}, \tag{2}$$

în care : $D_{t,n}$ sînt daunele de întrerupere normate.

$$C_{cal,r} = D_{t,r} + D_{\Delta u,\Delta f,r} + D_{ss,r} + D_{co,r} \tag{3}$$

unde :

$D_{r,t}$ sînt daunele de întrerupere reale;

$D_{\Delta u,\Delta f,r}$ — daunele reale datorate abaterii tensiunii și/sau frecvenței;

$D_{ss,n}$ — daunele reale de suprasarcină datorate scăderii tensiunii, regimului deformant și nesimetric, intensificării producției;

$D_{co,r}$ — daunele comerciale reale, datorate erorilor de măsurare a contoarelor de inducție la funcționarea în regim deformant.

Calculul diferitelor tipuri de daune se face cu următoarele modele :

1) $D_{t,n}$ este dauna de întrerupere estimată la optimizarea soluției de proiectare a sistemului de alimentare pe baza numărului mediu probabil de întreruperi [3, 5].

$$D_{t,r} = DDU + DMP + DNPN + DRPR + DDE, \tag{4}$$

unde :

DDU este dauna determinată de avarierea și distrugerea utilajelor, respectiv de deteriorarea materiei prime pe care acestea o conțin;

DMP — dauna ce decurge din degradarea materiei prime și rebuturi (independent de avarierea utilajelor);

$DNPN$ — dauna provenită din nerealizarea producției nerecuperabile;

$DRPR$ — dauna provenită din recuperarea producției recuperabile;

DDE — dauna ca urmare a deteriorării echipamentului electric de comutație din stațiile sistemului de alimentare al consumatorului.

Modelele de calcul ale acestor daune sînt [9] :

$$DDU = \sum_{i=1}^{n_u} \sum_{j=1}^{U} (C_{ji}^{ud} + C_{ji}^{pu} + C_{ji}^{r} + C_{ji}^{rpu}), \tag{5}$$

$$DMP = \sum_{i=1}^{n_m} \left[\left(\sum_{k=1}^{F} Q_{ki}^{mp} c_{ki}^{mp} \right) + C^{rp} + C^{g} + C^{spr} \right] \tag{6}$$

$$DNPN = \sum_{i=1}^{n_n} [p_{ni}(T_{ei} + t_{ih}) \cdot c_n + C^{sp} + c^{ac} \cdot (T_{ei} + t_{ih})], \tag{7}$$

$$DRPR = \sum_{i=1}^{t} p_{ri}(T_{ei} + t_{ih})\, C^{rs}, \tag{8}$$

$$DDE = \sum_{k=1}^{ne} (C_k^e + C_k^i). \tag{9}$$

Mărimile ce intervin în aceste modele reprezintă costuri (C) antrenate de efectele întreruperilor și de repunerea instalațiilor în stare de funcționare, costuri unitare (c), cantitatea

de materie primă deteriorată pe faza tehnologică (Q), producția medie orară nerecuperabilă (recuperabilă) pe întrerupere $p_n(p_r)$, durata unei întreruperi electrice (T_e), durata de la reapariția tensiunii pînă la atingerea nivelului producției normale (t_{th}).

$$2)\quad D_{\Delta u,\Delta f,\tau} = D_{pr} + D_{cn} + D_{der} + D_{per} + D_{rp} + D_{ig} + D_{il} + D_{pth} + I_{supl}, \qquad (10)$$

iar

$$D_{pr} = (p_n - p_r) T_{cal} \cdot c_p, \qquad (11)$$

în care : D_{pr} este dauna de scădere a productivității muncii datorată scăderii valorii tensiunii și/sau frecvenței ;

D_{cs} — cheltuielile suplimentare datorate creșterii consumurilor specifice de energie electrică ca urmare a scăderii valorii tensiunii și/sau frecvenței, sau după punerea în funcțiune a unor instalații suplimentare pentru asigurarea parametrilor tehnologici necesari ;

D_{der} — dauna ca urmare a dereglării unor procese tehnologice datorită variației tensiunii și/sau frecvenței ;

D_{per} — dauna ca urmare a perturbării funcționării calculatoarelor de proces la variații ale frecvenței ;

D_{rp} — dauna de recuperare a producției nerealizate ca urmare a scăderii productivității muncii ;

D_{ig} — dauna ca urmare a întreruperii unor procese tehnologice datorită creșterii sensibilității motoarelor la golurile de tensiune, ca efect al scăderii tensiunii de alimentare ;

D_{il} — dauna rezultată din înlocuirea corpurilor de iluminat uzate prematur ca urmare a creșterii tensiunii sau a regimului deformant ;

D_{pth} — dauna de nerealizare a parametrilor tehnologici în anumite instalații, datorită scăderii frecvenței și/sau tensiunii ;

I_{suvl} — investiția pentru instalațiile suplimentare necesare pentru menținerea valorilor parametrilor tehnologici în cadrul unor procese, ca urmare a scăderii acestora datorită scăderii frecvenței (atunci $D_{pth} = 0$) ;

$p_{n(r)}$ — valoarea productivității muncii în cele două regimuri ;

T_{cal} — perioada de calcul a producției nerealizate ca urmare a scăderii productivității muncii în regimul perturbat ;

c_p — costul unitar al produsului.

$$3)\quad D_{ss,\tau} = D_{\tau}^{cab} + D_{\tau}^{tr} + D_{\tau}^{mot}, \qquad (12)$$

$$D_{\tau}^{cab(tr,mot)} = D(I_{nv} - V_r + d), \qquad (13)$$

în care : $D_{\tau}^{cab(tr,mot)}$ este dauna ca urmare a reducerii duratei de viață a transformatoarelor, motoarelor și cablurilor în regim perturbat (tensiune redusă, regim deformant și nesimetric, suprasarcină) ;

D — reducerea procentuală suplimentară anuală a duratei de viață a instalațiilor datorită suprasolicitării termice a izolației [4] :

$$D[\%/\text{an}] = \frac{100\, t_{ss}}{10^{\left(\frac{B}{\theta + 273} + A\right)}}, \qquad (14)$$

unde :

t_{ss} este timpul de funcționare în suprasarcină ;

θ — temperatura conductorului cablului, a bobinajului unui motor sau temperatura punctului cel mai cald al transformatorului ;

A și B — constante de material ;

I_{nv} — investiția inițială în instalație ;

V_r — valoarea reziduală a instalației la sfîrșitul duratei ei de viață ;

d — costul demontării instalației.

$$4)\quad D_{co,r} = \varepsilon \cdot W_d \cdot c_e, \qquad (15)$$

unde [7], [8] : ε — eroarea de măsură a contorului ;

W_d — valoarea energiei înregistrate de contor ;

c_e — costul kilowatului-oră livrat consumatorului.

b) Cheltuielile de alimentare au componente pentru sistemul de generare (C_g), transport (C_t) și distribuție (C_d) a energiei electrice. Deoarece analiza se face la nivelul sistemului de distribuție cheltuielile în sistemul

de generare și transport se reprezintă prin costuri marginale (CM) exprimate la rîndul lor în funcție de energia intrată în rețeaua de distribuție (W_d).

$$C_{alim} = C_g + C_t + C_d = W_d \cdot CM + C_d, \quad (16)$$

iar

$$W_d = W_c + \Delta W, \quad (17)$$

în care : W_c reprezintă energia primită de consumator ;

ΔW pierderile în rețeaua de distribuție.

Aplicînd relația (1) celor două regimuri de funcționare (proiectat și real) se obțin relațiile :

$$\begin{cases} C_n = C_{cal,n} + W_{d,n} \cdot CM_n + C_{d,n}, \\ C_r = C_{cal,r} + W_{d,r} \cdot CM_r + C_{d,r}, \end{cases} \quad (18)$$

$$\begin{cases} C_{d,n} = C_{s,n} + C_{r,n} + C_{p,n}, \\ C_{d,r} = C_{s,r} + C_{n,r} + C_{p,r}, \end{cases} \quad (19)$$

$$C_{p,n(r)} = \beta \cdot \Delta W_{n(r)}, \quad (20)$$

$$CM = k_v \gamma, \quad (21)$$

în care se consideră $CM_n = CM_r$, iar :

$C_{sn(r)}$ reprezintă cheltuielile cu retribuțiile în cele două regimuri ;

$C_{r,n(r)}$ — cheltuielile cu reviziile și reparațiile curente ;

$C_{p,n(r)}$ — costul pierderilor de energie anuale ;

β — costul marginal al energiei pierdute ;

k_v — coeficientul de rezervă al puterii instalate ;

γ — costul unitar al puterii instalate în centrala etalon pe combustibil marginal.

În aceste condiții, făcînd diferența dintre cheltuielile anuale totale pentru energia electrică în cele două regimuri se obține :

$$\Delta C = C_r - C_n = (C_{cal,r} - C_{cal,n}) + (W_{c,r} - W_{c,n}) \cdot$$

$$\cdot CM + (\Delta W_r - \Delta W_d)\, CM + (C_{d,r} - C_{d,n}) \quad (22)$$

unde ΔC reprezintă dauna totală anuală suportată de consumator ca urmare a perturbării alimentării cu energie electrică.

4. Utilizarea modelului și concluzii

Modelul descris la pct. 3 se poate folosi la calculul efortului financiar suplimentar suportat de întreprindere datorită perturbării alimentării cu energie electrică a consumatorilor industriali.

Procesul de calcul necesar este foarte complex, necesitînd programe de calcul specializate pentru determinarea distribuției sarcinii în interiorul întreprinderii, analiza statistică a valorilor tensiunilor și frecvenței, determinarea unor indicatori statistici ai acestora și folosirea lor în calculele de optimizare a soluției de funcționare. De asemenea, trebuie făcută o analiză a efectelor fiecărui tip principal de perturbație asupra fiecărei instalații energetice și tehnologice a întreprinderii și trebuie determinate daunele produse în fiecare element al schemei de producție.

Se realizează în continuare un calcul al daunei la nivelul întregii întreprinderi și se iau deciziile necesare de înlăturare, cel puțin parțială, a efectelor perturbațiilor, stabilindu-se condițiile de suboptimizare a procesului de funcționare reală, în condiții de perturbații impuse.

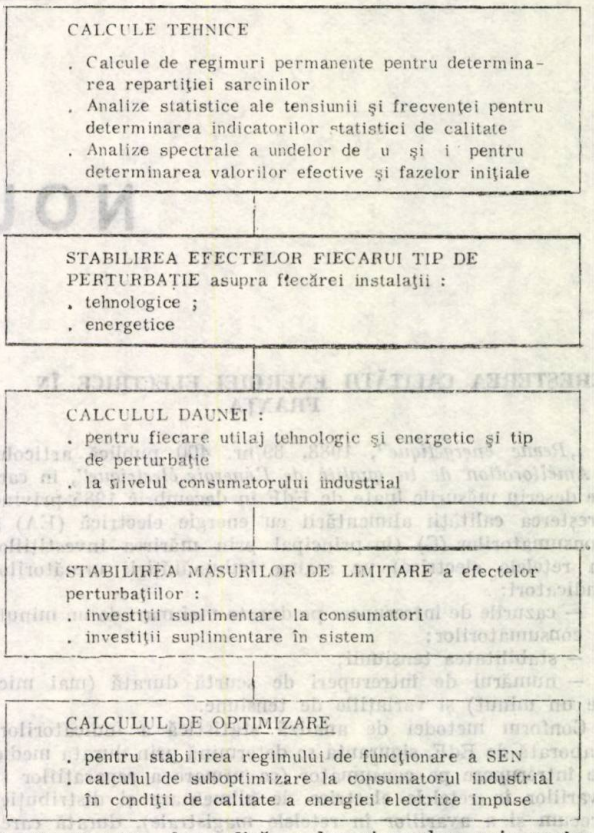


Fig. 2. Algoritm de analiză a daunei produse prin perturbarea alimentării cu energie electrică a consumatorilor industriali.

În figura 2 se prezintă o organigramă de calcul al acestui proces pentru o întreprindere dată.

Din analizele întreprinse de foarte mulți cercetători rezultă că existența factorilor perturbatori în instalațiile de alimentare cu energie electrică a consumatorilor industriali contribuie în mod grav la micșorarea beneficiului real

al întreprinderilor, iar măsurile suplimentare de corecție care se întreprind măresc în continuare eforturile financiare, afectînd costul de producție al unității economice.

Pentru apropierea nivelului de producție de cel planificat prin proiect este necesar să se ia măsuri radicale la nivelul sistemului energetic pentru diminuarea influenței factorilor perturbatori energetici, eliminîndu-se întreruperile și menținîndu-se nivelul parametrilor de stare ai SEN (tensiune și frecvență) la valorile lor nominale.

Bibliografie

[1] Albert, H., Florea, I., Iordănescu, I. *Alimentarea cu energie electrică a întreprinderilor industriale.* București, Ed. Tehnică, 1978.

[2] Iordănescu, I., Iacobescu, Gh. *Alimentarea cu energie electrică a întreprinderilor.* București, Ed. Didactică și Pedagogică, 1979.

[3] Nitu, V. I. *Fiabilitatea instalațiilor energetice.* Editura Academiei R.S.R., București, 1973.

[4] Lahoti, B. D., Flowers, D. E. *Evaluation of transformer loading above nameplate rating.* În: IEEE Trans. on PAS, nr. 4, 1981, pp. 1989–1998.

[5] Billinton, R., Woczynski, E. *Distributional variation of distribution system reliability indices.* În: IEEE Trans. on PAS, nr. 11, 1985, pp. 3152–3160.

[6] * * * *Cercetări privind influența funcționării SEN în condiții de deficit de putere și de frecvență redusă asupra indicatorilor de siguranță și economicitate ai sistemului.* Studiu ICEMENERG, 1985.

[7] * * * *The effects of power system harmonics on power system equipment and loads — A report of the W.G. on P.S.H.* În: IEEE. Trans. on PAS, nr. 9, 1985, pp. 2555–2563.

[8] Baghzouz, Y., Taw, O. T. *Harmonic analysis of induction watthour meter performance.* În: IEEE Trans. on PAS, nr. 2, 1985, pp. 399–406.

[9] Dumitriu, L. *Contribuții la stabilirea daunelor la consumatorii industriali, produse prin perturbarea alimentării cu energie electrică.* Teză de doctorat, Institutul Politehnic București, 1987.

(Primit la 26 noiembrie 1987, acceptat la 26 ianuarie 1989)

NOUTĂȚI

Din energetica mondială

CREȘTEREA CALITĂȚII ENERGIEI ELECTRICE ÎN FRANȚA

„Revue énergetique", 1988, 39/nr. 400 publică articolul *„Amélioration de la qualité de l'énergie électrique"*, în care se descriu măsurile luate de EdF în decembrie 1985 privind creșterea calității alimentării cu energie electrică (EA) a consumatorilor (C) (în principal prin mărirea investițiilor în rețelele electrice) pe seama îmbunătățirii următorilor indicatori:

— cazurile de întrerupere pe durate mai mari de un minut, a consumatorilor;

— stabilitatea tensiunii;

— numărul de întreruperi de scurtă durată (mai mici de un minut) și variațiile de tensiune.

Conform metodei de analiză statistică a indicatorilor, elaborată de EdF, siguranța se determină prin durata medie de întrerupere pe consumator (ca urmare a reparațiilor și avariilor în rețelele electrice de alimentare și distribuție, precum și a avariilor în rețelele magistrale), durată care, pentru rețelele de distribuție a fost, în 1985, de 5 ore/consumator din care 2,5 ore/consumator ca urmare a declanșării de avarie pe consumator, durata normată de 3,1 ore/consumator în metoda EdF.

Numărul mediu de declanșări de avarie pe consumator din rețeaua urbană de distribuție a fost, în 1984, de 1,1, iar pentru un consumator din rețeaua rurală de 5,1 ore/consumator.

Creșterea siguranței alimentării cu energie se va asigura prin construirea unui număr de 65 noi stații de transformare și a cîtorva sute de tronsoane de linii la medie tensiune, fapt care va scurta lungimea medie a LEA de alimentare de la 52 la 35 km (în acest caz lungimea medie a acestora se va reduce de la 200 la 70 km).

Utilizarea în rețelele electrice de distribuție a unor noi tipuri de descărcătoare de protecție contra supratensiunilor atmosferice și a unor întrerupătoare cu telecomandă va permite reducerea duratei medii anuale de întrerupere a consumului de la 5 la 3 ore, limitînd durata maximă a acestora la 5 ore în loc de 15 ore în prezent.

Scăderea lungimii medii a liniilor electrice de alimentare cu energie electrică va permite, de asemenea, reducerea căderilor de tensiune în rețelele de distribuție, de la 7,5 la 5,5%, mărirea puterii de scurtcircuit și creșterea stabilității tensiunii în rețelele de distribuție de joasă tensiune (230/400 V) la care trebuie să se asigure în anul 1996, o abatere de tensiune de maximum +6%—10%.

Conform datelor EdF, ponderea consumatorilor din rețelele rurale de distribuție la care nu s-a asigurat, în 1985, nivelul normat de tensiune a fost de 12,7% din numărul total de consumatori de acest tip, față de o pondere de 21,5% în anul 1980.

(După: Referativnii jurnal, 22, Energhetika, vol. general, nr. 8, 1988, poz. 8J 101)

Regimul termic al gazelor de ardere la trecerea cazanelor cu tub de flacără de la funcţionarea cu hidrocarburi superioare la funcţionarea cu gaz de gazogen

Conf. dr. ing. CONSTANTIN NEAGA*

Descriptori: cazane de abur, combustibili gazoşi

CZ: 662.613.5: 621.181.001.4

În lucrare se expun metode de verificare a regimului de temperaturi ale gazelor de ardere la trecerea unui cazan cu tub de flacără de la funcţionare cu gaz natural la funcţionarea cu gaz de gazogen; ea este utilă specialiştilor, atît din proiectare, cît şi din exploatarea generatoarelor de abur sau de apă caldă.

The paper presents the test method of the flue gas temperature regime after the refuelling of a fire-tube boiler from natural gas to producer gas; it is useful to the planning as well as operation experts of steam or hot water generators.

Actuala conjunctură energetică, cît şi considerente economice specifice utilizării eficiente a tuturor formelor de energie primară impun, în anumite împrejurări, trecerea generatoarelor de abur sau apă caldă de la funcţionarea cu combustibilul de proiect (de bază) la funcţionarea cu un alt combustibil, avînd de regulă, puterea calorifică mai mică.

În lucrarea de faţă se analizează această posibilitate pentru cazanele cu tub de flacără în cazul în care sînt trecute de la funcţionarea cu gaz natural la funcţionarea cu gaz de gazogen. Calculul regimului de temperaturi al gazelor de ardere în cazul utilizării combustibilului de înlocuire (gaz de gazogen) impune un calcul termic de verificare a întregului cazan.

Pentru un generator de abur sau apă caldă, indiferent de regimul de funcţionare se poate scrie următoarea ecuaţie de bilanţ termic :

$$B(Q_i^t + \Delta i_c + i_{co}) + B_{ef}\lambda'_p I^0_{aum}(t'_p) + \\ + B_{ef}\Delta\lambda I^0_{aum}(t_0) + BW_f(i_f - 2510) = \\ = Q_u + B_{ef}I_g(\lambda_{ev}, t_{ev}) + B(Q_{ch} + \\ + Q_m + Q_{ex} + Q_{rf}) \quad [\text{kW}], \qquad (1)$$

unde :

B este debitul de combustibil curent (la un moment dat) introdus în instalaţie, kg/s ; m^3/s ;

$B_{ef} = (1 - 0{,}01\, q_m)\, B$ — debitul de combustibil ars efectiv, kg/s ;

Q_i^t (sau Q_i^{um}) — puterea calorifică inferioară a combustibilului, kJ/kg ; kJ/m³ ;

i_{co} — entalpia specifică a combustibilului la temperatura mediului ambiant ;

$i_{co} = c_c t_0$, kJ/kg ; kJ/m³ ;

c_c — căldura specifică a combustibilului, kJ/kg · K ; kJ/m³ K ;

t_0 — temperatura mediului ambiant, °C ;

Δi_c — excesul de entalpie a combustibilului peste entalpia la temperatura mediului ambiant ;

$\Delta i_c = c_c \times (t_c - t_0)$, unde t_c este temperatura combustibilului la introducerea în generator, °C ;

λ'_p, λ_{ev} — coeficientul de exces de aer la intrarea în preîncălzitorul propriu al generatorului, respectiv la evacuare ;

$\Delta\lambda$ — infiltraţia de aer fals în generator ;

$I^0_{aum}(t'_p)$ — entalpia aerului umed teoretic la temperatura t'_p de la intrarea în generator, kJ/kg ; kJ/m³ ;

W_f — consumul specific de abur necesar pulverizării combustibilului, kg/kg ;

i_f — entalpia aburului de pulverizare, kJ/kg ;

Q_u — căldura utilă curentă schimbată în generator, kW ;

* Conf. dr. ing. Constantin Neaga — Facultatea de Mecanică, Institutul Politehnic, Bucureşti

$I_g(\lambda_{ev}, t_{ev})$ — entalpia gazelor de ardere evacuate, variabilă cu regimul de funcționare al generatorului, kJ/kg; kJ/m³;

t_{ev} — temperatura gazelor evacuate, °C;

Q_{ch}, Q_m, Q_{ex}, Q_{rf} — pierderea curentă de căldură prin ardere chimic incompletă, respectiv mecanic incompletă, în exterior prin pereții generatorului, cu reziduurile solide din focar, kJ/kg; kJ/m³; ele se determină experimental pentru fiecare sarcină, excepție făcînd Q_{ex} pentru care există expresia analitică:

$$Q_{ex} = Q_{exn} D_n/D = Q_{exn}Q_{un}/Q_u \quad [\text{kJ/m}^3], \qquad (2)$$

unde:

Q_{exn} este pierderea în exterior la sarcina nominală a generatorului;

D_n, D — sarcina nominală, respectiv, curentă a generatorului, kg/s;

Q_{un} — căldura utilă schimbată în generator la sarcina nominală a acestuia, kW.

În relația (2) s-a presupus că diferența de entalpii ale agentului de lucru rămîne neschimbată la variația sarcinii; deci sarcina se schimbă numai prin modificarea debitului masic livrat consumatorului.

Din relația de bilanț (1) se deduce expresia debitului curent de combustibil

$$B = Q_u/[C - Q_{ch} - Q_m - Q_{exn}Q_{un}/Q_u - Q_{rf} - (1 - 0{,}01q_m) I_g(\lambda_{ev}, t_{ev})], \qquad (3)$$

unde constanta C se determină ușor. Relația (3) arată că debitul de combustibil este funcție de variabilele Q_u și t_{ev}, mărimi asupra cărora se poate acționa în calculul termic de verificare, adaptînd astfel un generator existent la noi condiții de funcționare; evident variabila Q_u afectează direct consumatorul, iar t_{ev}, furnizorul. În analiza care urmează se va acorda prioritate consumatorului, adică trecerea unui generator de la un combustibil la altul să mențină debitul caloric livrat consumatorului cît mai aproape de valoarea lui nominală.

În continuare dezvoltarea lucrării se va face cu referire la un caz concret: trecerea cazanului cu tub de flacără CTF-1 de la funcționarea cu gaz natural la funcționarea cu gaz de gazogen.

Caracteristici ale cazanului CTF-1: debitul nominal, $D_n = 2$ t/h; presiunea nominală, $p_n = 13$ bari; temperatura nominală, $t_n = t_s = 191{,}6°$ C (cazanul produce abur saturat); temperatura apei de alimentare, $t'_e = 25°$C (entalpia $i'_e = 106$ kJ/kg;) tubul focar are prima parte de lungime 3790 mm și diametrul de 780 mm, iar partea a doua, de lungime 1720 mm și diametrul 600 mm; suprafața de radiație (a tubului focar), $F_{pf} = 12{,}25$ m²; suprafața de convecție se compune din 76 țevi, 57 × 3, de lungime 5510 mm fiecare, evaluind 68,75 m². Cazanul este proiectat să folosească gaz natural cu puterea calorifică inferioară a combustibilului anhidru $Q_i^{anh} = 36246$ kJ/m³ căldura utilă schimbată în cazan la sarcină nominală

$$Q_{un} = D_n(i'' - i'_e)/3{,}6 = 2(2786 - 106)/3{,}6 = 1489 \text{ kW}, \qquad (4)$$

unde i'' este entalpia aburului saturat uscat, kJ/kg.

Temperatura gazelor de ardere evacuate $t_{ev} = 220°$C; randamentul cazanului $\eta = 86{,}3\%$ consumul de combustibil (la sarcină nominală) $B = 171$ m³/h $= 0{,}0476$ m³/s. Aerul de ardere se introduce în focar cu ajutorul unui ventilator; aerul nu este preîncălzit avînd astfel temperatura mediului ambiant $t_0 = 25°$C.

Temperatura teoretică de ardere a gazului natural rezultă din ecuația de bilanț termic scris pentru focar (în absența schimbului de căldură utilă):

$$Q_i^{anh} + i_{co} + \lambda_f I^0_{aum}(t_0) = I_g(\lambda_f, t_t) + Q_{ch}, \text{[kW]} \qquad (5)$$

unde i_{co} este entalpia specifică a gazului natural la temperatura mediului ambiant, $i_{co} = c_c t_0$, kJ/m³; c_c — căldura specifică a combustibilului, kJ/m³ · K; λ_f — coeficientul de exces de aer la ieșirea din tubul focar (se admite 1,2). După înlocuiri rezultă din (5) entalpia gazelor de ardere la temperatura teoretică $I_g(\lambda_f, t_t) = 35544$ kJ/m³ și din tabelul 1, pentru $\lambda_f = 1{,}2$ se găsește temperatura teoretică de ardere a gazului natural $t_t = 1773°$ C.

Tabelul 1

$I - t$ pentru aer și gaze de ardere

t[°C]	$I^0_{aum}(t)$ [kJ/m³]		$I_g(\lambda_f, t)$ [kJ/m³]	
	Gaz natural	Gaz gazogen	Gaz natural	Gaz gazogen
0	0	0	0	0
100	1250	159	1687	308
200	2510	311	3408	622
400	5110	632	6977	1277
600	7830	968	10733	1973
800	10640	1318	14674	2698
1000	13560	1675	18760	3454
1200	16530	2046	22974	4230
1400	19580	2422	27290	5023
1600	22660	2802	31684	5831
1800	25760	3183	36143	6647
2000	28910	—	40654	—

Cu valorile precedente se calculează criteriul Boltzmann:

$$Bo = \varphi B_{ef} V_g(\lambda_f) c_g / (\sigma_0 \psi F_{pf} T_t^3), \quad (6)$$

unde: φ este coeficientul de conservare a căldurii, $\varphi = \eta/(\eta + q_{cx})$, [1]; $V_g(\lambda_f)$ — volumul gazelor de ardere pentru coeficientul mediu de exces de aer din focar, m³/m³; c_g — căldura specifică medie a gazelor de ardere între temperatura teoretică și temperatura gazelor la ieșirea din focar (necunoscută pentru primul pas al iterației), kJ/(m³ · K); $\sigma_0 = 5{,}67 \cdot 10^{-11}$ kW/m² · K⁴ — coeficientul de radiație al corpului negru; ψ — factorul de eficiență termică a schimbului de căldură în focar; F_{pf} — suprafața pereților focarului, m²; T_t — temperatura teoretică, K; $\varphi = 0{,}983$; $V_g(\lambda_f) = 12{,}32$; $c_g = 1{,}575$; $\psi = 0{,}65$; $F_{pf} = 12{,}25$ m². Rezultă Bo = 0,239; grosimea stratului radiant al gazelor din tubul focar $s = 3{,}6\ V_f/F_{pf} = 0{,}676$ m.

Formula de calcul al temperaturii gazelor la ieșirea din tubul focar este

$$\frac{1 - \theta_f}{\theta_f} = M \left(\frac{a_f}{\mathrm{Bo}} \right)^{0,6}, \quad (7)$$

unde $\theta_f = T_f/T_t$ este temperatura raportată a gazelor de ardere la ieșirea din focar; a_f — coeficientul energetic de emisie al focarului; M — mărime care ține seama de poziția relativă a temperaturii maxime din focar.

Procedeul de lucru este următorul: se admite o valoare pentru t_f; se calculează c_g și, cunoscînd compoziția gazelor de ardere, se determină coeficienții energetici de emisie ai flăcării a_{fl} și focarului a_f; apoi t_f admis se verifică cu (7). Pentru cazul cazanului CTF-1, $t_f = 1037°$ C, $a_{fl} = 0{,}218$; $a_f = 0{,}3$.

Căldura schimbată prin radiație rezultă din expresia

$$\varphi B[I_g(\lambda_f, t_t) - I_g(\lambda_f, t_f)] = Q_r, \quad \text{kW}. \quad (8)$$

După înlocuiri se obține $Q_r = 735$ kW. Prin convecție se schimbă debitul $Q_c = Q_{un} - Q_r = 1489 - 735 = 754$ kW.

Combustibilul de înlocuire este gazul de gazogen cu compoziția

$$CO_2^{um} = 6{,}20\%;\ C_mH_n^{um} = 0{,}19;\ CO^{um} = 24{,}79;$$
$$H_2^{um} = 12{,}96;\ CH_4^{um} = 2{,}38;\ O_2^{um} = 0{,}19;$$
$$N_2^{um} = 48{,}62;\ H_2O^{um} = 4{,}67\%.$$

Pe baza compoziției precedente s-au calculat puterea calorifică a combustibilului umed $Q_i^{um} = 5480$ kJ/m³; $V_a^0 = 1{,}148$; $V_{aum}^0 = 1{,}1665$; $V_{CO_2} = 0{,}3375$; $V_{N_2}^0 = 1{,}3931$; $V_{H_2O}^0 = 0{,}2481$ m³/m³; valorile entalpiilor se găsesc în tabelul 1.

Cu relația (5) se găsește entalpia gazelor la temperatura teoretică $I_g(\lambda_f, t_t) = 5315$ kJ/m³ și din tabelul 1, se determină temperatura teoretică de ardere a gazului de gazogen, $t_t = 1473°$C.

Se admite, pentru început, că și la folosirea gazului de gazogen se poate asigura aceeași căldură utilă, păstrînd aceeași temperatură de evacuare a gazelor de ardere. Din (3) rezultă debitul de combustibil (gaz de gazogen) consumat $B = 0{,}32177$ m³/s = 1152 m³/h. Înainte de a determina valorile temperaturilor gazelor de ardere în canalele cazanului se verifică viteza gazelor în țevile suprafeței de convecție, adică dacă este satisfăcută egalitatea debitelor gazelor de ardere în cele două situații:

$$B_1 V_{g1} T_{g1}/273 = B_2 V_{g2} T_{g2}/273, \quad \text{m}^3/\text{s}, \quad (9)$$

unde cu indicele „1" s-au notat mărimile referitoare la gazul natural, iar cu „2", la gazul de gazogen. După cum se va vedea temperaturile medii ale gazelor în suprafața de convecție, $T_g = 0{,}5\ (t_f + t_{ev}) + 273$ sînt aproximativ egale în cele două cazuri; rămîne deci să se verifice debitele în condiții normale. ($V_{g2} = 2{,}2057$ m³/m³ pentru $\lambda_f = 1{,}2$).

$$\varepsilon = 100(B_2 V_{g2} - B_1 V_{g1})/(B_1 V_{g1}) = 21\%; \quad (10)$$

deci $w_{g2} = 1{,}21\ w_{g1}$. (La trecerea de la combustibil superior la combustibil inferior, la aceeași sarcină a cazanului, debitul gazelor de ardere în condiții normale crește.) Ținînd seama de valorile vitezelor pierderea de presiune pe traseul gazelor de ardere crește cu 46,41%. Cazanul CTF-1 asigură evacuarea gazelor în atmosferă prin tiraj natural, ceea ce, conchidem în asemenea situație nu poate face față. Rezultă că trebuie micșorat debitul de gaz de gazogen. Pentru a micșora debitul de gaz de gazogen (pentru aceeași căldură utilă) o primă soluție ar fi scăderea temperaturii gazelor evacuate. În cazul special al cazanului CTF-1 aceasta nu se poate, deoarece $t_{ev} - t_s = 220 - 191{,}6 = 28{,}4°$ C, diferență prea mică, chiar pentru funcționarea cu gaz natural. În consecință trebuie micșorată căldura utilă a cazanului, măsură care afectează consumatorul. Un criteriu de determinare a căldurii utile (fără a fi general valabil) pentru cazul în speță analizat este egalitatea vitezelor gazelor în condiții reale prin secțiunile libere ale canalelor gazelor de ardere ale cazanului. Din egalitatea $B_1 V_{g1} = B_2 V_{g2}$ rezultă debitul de gaz de gazogen consumat pentru asigurarea căldurii utile micșorată a cazanului, $B_2 = 0{,}2659$ m³/s. Din (3), ținînd seama de variația pierderilor de căldură cu noua sarcină, rezultă $Q_u = 0{,}79\ Q_{un}$; deci fără a schimba valorile pierderilor de presiune și temperatura gazelor evacuate, noua sarcină reprezintă față de prima 79%. Debitul ventilatorului de aer scade; în primul caz, la funcționarea cu gaz natural și sarcină nominală $D_{va} = 0{,}5398$ m³/s; în cazul al doilea, cu gaz de gazogen și sarcină 79%, $D_{va} = 0{,}3722$ m³/s,

adică o scădere procentuală de 31%. Această concluzie este utilă în reglarea debitului de aer introdus în focar pentru arderea combustibilului de înlocuire (gazul de gazogen).

Pentru determinarea regimului de temperaturi ale gazelor de ardere în lungul canalelor cazanului se calculează întîi coeficienții energetici de emisie ai flăcării a_{fl} și focarul a_f pentru diferite valori ale temperaturii la ieșirea din focar presupuse a fi realizate la funcționarea cazanului în noua situație (tabelul 2).

Tabelul 2

Valorile coeficienților energetici de emisie a_{fl}, a_f

T_f[K]	1073	1118	1173	1223	1273	1323
a_{fl}	0,20943	0,2043	0,1979	0,192	0,1863	0,1802
a_f	0,2895	0,283	0,275	0,2677	0,2605	0,2527

Randamentul cazanului la funcționarea cu gaz de gazogen și aceeași sarcină, egală cu sarcina nominală la funcționarea cu gaz natural, dacă aceasta s-ar putea asigura, se micșorează, deoarece pierderile q_{ev} cresc cînd puterea calorifică a combustibilulului scade; în speță $\eta = 83{,}44\%$.

Dar la funcționarea cu gaz de gazogen sarcina se micșorează și deci randamentul scade deoarece q_{ex} și q_{ch} cresc ($q_{ev} \sim$ const., deoarece t_{ev} se menține constantă; de asemenea $\lambda_{ev} =$ const.). Valoarea lui dedusă pe cale directă, cît și indirectă este aceeași

$$\eta = \frac{Q_u}{BQ_i^{um}} \cdot 100 = \frac{0{,}79 \cdot 1489}{0{,}2659 \cdot 5480} \cdot 100 = 80{,}5\%; \quad (11)$$

$$\eta = 100 - (q_{ev} + q_{ch} + q_{ex}) = 80{,}5\%. \quad (12)$$

Coeficientul de utilizare a căldurii $\varphi = 0{,}953$; criteriul Boltzmann Bo = 0,4031 (pentru coeficientul de eficiență termică ψ s-a admis valoarea 0,60 mai mică decît pentru gaz natural egală cu 0,65.)

Pentru verificarea calculelor efectuate pînă acum se folosește relația:

$$\varphi B[I_g(\lambda_f, t_l) - I_g(\lambda_f, t_{ev})] = Q_u. \quad (13)$$

După înlocuiri: $0{,}953 \cdot 0{,}2659\,(5315 - 687{,}5) = 1173$, adică $\sim 0{,}79 \times 1489$, ceea ce denotă justețea celor admise și corectitudinea calculelor.

Cu relația (7) se găsește temperatura gazelor la ieșirea din tubul focar la funcționarea cazanului cu gaz de gazogen și sarcină parțială de 79%, $t_f = 990°$ C.

Folosind (8) rezultă căldura transmisă prin radiație în tubul focar $0{,}953 \cdot 0{,}2659\,(5315 - 3416) = 481$ kW; deci prin convecție trebuie transmis debitul caloric: $Q_c = Q_u - Q_r = 1173 - 481 = 692$ kW.

Se verifică dacă suprafața de convecție a cazanului poate asigura acest schimb de căldură. Viteza gazelor prin țevile cazanului este de 12,15 m/s; coeficientul de convecție de la gaze la peretele metalic $\alpha_c = 51{,}2$ W/(m² · K); diferența medie logaritmică de temperatură $\Delta t_{mlg} = 230$ K; suprafața de convecție 68,75 m²; se admite pentru coeficientul de eficiență termică la calculul suprafețelor de convecție valoarea 0,85. Cu acestea rezultă $Q'_c = 688{,}16$ kW, valoare practic egală cu diferența anterioară de 692 kW.

Concluzii

Lucrarea a prezentat metodica de verificare a regimului de temperaturi ale curentului de gaze de ardere pentru un cazan simplu (CTF-1) cînd acesta este trecut de la funcționarea cu gaz natural la funcționarea cu gaz de gazogen. Se recomandă să se folosească pentru verificare aceeași metodă de calcul care a fost folosită la proiectarea cazanului. Nu în ultimul rînd, trebuie să se verifice dacă noul arzător, pentru gaz de gazogen, poate fi amplasat în spațiul pe care-l oferă partea anterioară a tubului focar; în unele cazuri concluziile acestei verificări pot fi decisive asupra alegerii valorii sarcinii cazanului.

Bibliografie

[1] Neaga C., Epure, Al. *Calculul termic al generatoarelor de abur*. Editura tehnică, București, 1988.

(Primit la 9 iulie 1988, acceptat la 8 februarie 1989)

Transportul și manipularea echipamentului greu și/sau agabaritic la centralele termoelectrice și nuclearoelectrice*)

Ing. VASILE POPOVICI, ing. ALEXANDRU HRISTOFOROV, ing. ROMEO ZBARCEA**

Descriptori: centrale termoelectrice, centrale nuclearoelectrice, transporturi grele

CZ: 621.311.22/23 + 621.311.25.005

Odată cu industrializarea rapidă a țării noastre s-a pus în mod frecvent și problema transportului echipamentelor grele și/sau agabaritice ale căror greutăți și dimensiuni necesită rezolvări specifice pe căi și mijloace de transport adecvate.

Datorită complexității problemelor, transportul pieselor grele și/sau agabaritice a fost reglementat în mod special prin hotărîri și legi.

În vederea stabilirii mijloacelor și căilor de transport, precum și a traseelor de parcurs în țară, de la furnizori în incinta centralelor, se întocmesc studii de către institute de specialitate și se obțin avizele necesare.

Transportul echipamentelor grele sau agabaritice la centralele nuclearoelectrice reprezintă probleme deosebite atît din punctul de vedere al numărului de tipuri de piese care este mai mare decît la centralele clasice, cît și din punctul de vedere al dimensiunilor și greutății acestora, constituind un criteriu pentru studiul amplasamentelor CNE.

Along with the industrialization development of Romania, the transportation heavy and/or oversized parts whose weight and dimensions require specific solutions by suitable transport means and ways has frequently occured.

Due to the complexity of problems, the transport of these parts has been settled by decisions and laws.

Practically, in order to decide on the transportation means and ways as well as on the routes to be followed from the manufacturers to the plants inside, specialized institutes have set up studies and obtained approvals.

The transportation of heavy and oversized parts for nuclear power plants sets up special problems from the point of view of the number of parts types which outnumber the one of conventional plants as well as what regards their dimensions and weights. They constitute the subject of nuclear power plants location studies.

Creșterea economică în ansamblu necesită și creșterea producției de energie. Tendința actuală a dezvoltării mondiale a energeticii impune realizarea de centrale electrice echipate cu grupuri de mare putere unitară, datorită avantajelor economice și de exploatare pe care la prezintă. În Republica Socialistă România se montează grupuri energetice de 330 MW la centrala termoelectrică Turceni pe cărbune și se instalează la CNE Cernavodă unități tip CANDU de 700 MWe, prevăzîndu-se construirea în continuare de centrale nuclearoelectrice cu același tip de grupuri energetice.

Pentru centralele clasice transportul echipamentului energetic greu sau agabaritic constituie o problemă cu mai puține implicații. În cazul centralelor nuclearoelectrice transportul pieselor grele și/sau agabaritice constituie un criteriu important, care impune analize aprofundate la alegerea amplasamentului acestor centrale și condiții pentru realizarea acestor lucrări.

1. Specificul problemei

Creșterea puterii unitare a agregatelor energetice, urmată de creșterea dimensiunilor și greutății pieselor componente, ridică o serie de probleme în legătură cu calea și mijlocul de transport, precum și cu manipularea acestora.

La o centrală nuclearoelectrică numărul tipurilor pieselor grele sau agabaritice este de circa 3 ori mai mare decît la centralele clasice.

În tabelul 1 sînt cuprinse dimensiunile unora dintre principalele piese pentru grupurile de 330 MW și respectiv 700 MWe.

Pentru CNE Cernavodă trebuie transportate 60 tipuri de piese grele și/sau agabaritice totalizînd circa 70740 tone.

Transportul se poate face mai ușor în cazul în care amplasamentul CNE are legătură de comunicație pe apă pînă la furnizori.

Problemele puse la alegerea amplasamentului de transportul pieselor grele sau agabaritice constituie obiectul unor proiecte de specialitate și de amplasare, din care poate rezulta că diferitele amplasamente sînt departajate între ele din acest punct de vedere, de cheltuieli care ating în unele cazuri sute de milioane, pînă la 2—3 miliarde lei. Aceste cheltuieli sînt necesare pentru eventuala achiziționare a unor mijloace de transport speciale pe apă sau uscat, amenajarea sau construirea unui port în punctul cel mai apropiat de amplasament, pentru amenajarea sau adaptarea căii rutiere sau feroviare și a lucrărilor de artă respective, ca și a rețelelor aeriene, în vederea asigurării transportului. De asemenea, se pot analiza cu furnizorii posibilitățile de adaptare a pieselor pentru transport și implicațiile respective.

* Lucrarea a fost prezentată la Consfătuirea Termoenergeticienilor, Brașov 1987.

** Ing. Vasile Popovici, ing. Alexandru Hristoforov, ing. Romeo Zbarcea — Institutul de Studii și Proiectări Energetice, București.

Tabelul 1

Tip de centrală și grupul [MW]	Denumirea piesei	Număr bucăți pe grup	Dimensiuni [mm] L×l×h	Greutatea unei bucăți [t]
Termocentrală 330 MW	Stator turbogenerator	1	7900×3970×4250	228
	Transformator 400 MVA	1	9800×3120×4420	256
CNE—CANDU 700 MWe	Calandria	1	8490×8534×899[illegible]	263
	Generator de abur	4	19533×4210×392[illegible]	215
	Stator generator	1	10800×4000×4200	331
	Transformator 440 MVA	2	12300×3200×4400	280
	Cadru colectoare circuit primar	4	7240×7290×3[illegible]00	42
	Rotor C.J.P.A.	1	13360×3962×4[illegible]67	200

2. Reglementarea legală a problemei transporturilor pieselor grele sau agabaritice și avizele necesare

Dezvoltarea energeticii, ca o condiție primordială a dezvoltării industriale a țării noastre, a necesitat reglementări și pentru transportul pieselor grele sau agabaritice, odată cu creșterea greutăților și dimensiunilor lor.

2.1. Prin reglementările anexă la HCM 770/1965, piesele grele sau agabaritice, care urmează a fi transportate pe calea ferată, sînt astfel definite :

a) din punctul de vedere al greutății, piesele care depășesc 25 t pe obiectul care trebuie transbordat pentru a ajunge la destinație sau 60 t pe obiectul care trebuie transportat direct ;

b) din punctul de vedere al gabaritului, piesele care nu se înscriu în gabaritul de încărcare al căilor ferate normale STAS 4392-84 (lățime 3150 mm (fig. 1 *a*)).

Pentru ca un transport pe calea ferată să nu ridice probleme în nici o țară, trebuie să se înscrie în gabaritul internațional passe-partout (fig. 1).

2.2. Legea drumurilor, nr. 13 din 26.07.1974, stabilește prin art. 21 „tonajele și gabaritele admise pentru autovehiculele care circulă pe drumurile publice" (fig. 1 *b*) după cum urmează :

a) tonaje :

— pe autostrăzi și pe drumurile deschise traficului internațional, precum și pe străzi modernizate în orașe : 10 t pe osia simplă și 16 t pe osia dublă ;

— pe celelalte drumuri modernizate : 8 t pe osia simplă și 14,5 t pe osia dublă ;

— pe drumurile împietruite : 7 t pe osia simplă și 12 t pe osia dublă.

Distanța între axele osiei duble nu poate depăși 2 m.

b) gabarite :

— lățimea 2,50 m,

— înălțimea 4,00 m.

În art. 22 al *Legii nr. 13/1974* se precizează că : „Proiectarea, executarea sau contractarea în țară sau din import de utilaje, agregate și instalații, precum și de vehicule cu gabarite și tonaje ce depășesc limitele prevăzute în art. 21 se fac cu avizul prealabil al Ministerului Transporturilor și Telecomunicațiilor, în ceea ce privește posibilitatea de transport și condițiile de circulație pe drumurile publice".

2.3. Pentru transportul pe calea ferată, prevederile legale din „*Instrucțiunile MTTc Depart. C.F. nr. 328/1963*" impun aceleași condiții ca mai sus, privind contractarea echipamentelor, ceea ce reclamă responsabilitate sporită.

2.4. Prin „*Instrucțiunile Direcției Drumurilor aprobate cu ordinul MTTc nr. 923 din 22.05. 1978*" se stabilesc măsurile privind autorizarea și efectuarea transporturilor cu tonaje și gabarite depășite pe drumurile publice, precum și privind vehiculele de transport.

3. Modul de rezolvare a transportului pieselor grele sau agabaritice

Se efectuează atît transporturi pe apă, pe calea ferată sau pe drumuri, cît și transporturi combinate.

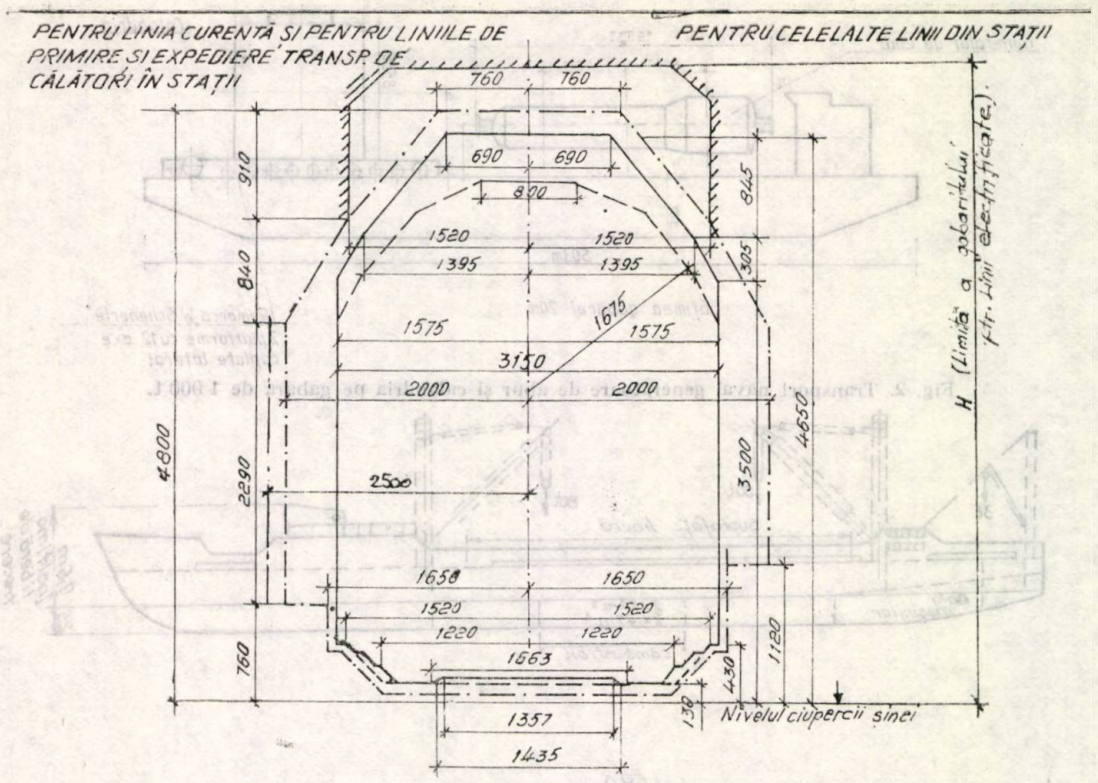
3.1. Documentația necesară pentru obținerea avizelor de transport

Documentația de transport și avizele speciale, emise de către MTTc după cazurile studiate, pot admite pentru căile ferate încărcătura în limita gabaritului de liberă trecere (fig. 1), chiar cu unele derogări de la lățimea de 4,00 m și sarcină pe osie de 16—20 t. De asemenea, pentru drumuri se fac analize privind trecerea unor gabarite mai mari și cu sarcini sporite, indicîndu-se consolidări sau ocoliri ale lucrărilor de artă, executarea unor noi tronsoane de șosea sau efectuarea transportului pe cele existente în perioade uscate sau înghețate ale anului.

3.2. Transportul pe apă al echipamentelor

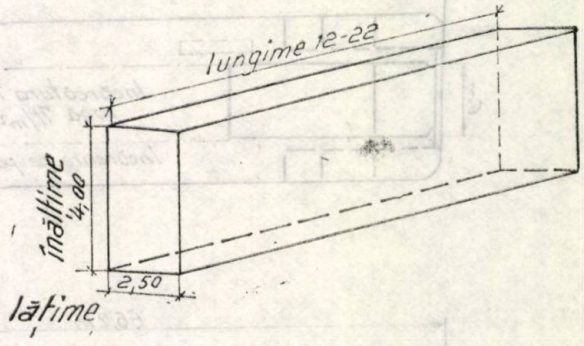
Pentru transportul pieselor grele sau agabaritice se pot adopta unele dintre soluțiile :

— gabară fluvială de 1000 t pe care treilerul cu piesa grea de transportat, adus la cheiul de încărcare, se trage pe gabără.



a

Fig. 1. a — gabarite de cale ferată (conf. STAS 4392—84); ———— gabarit de încărcare; ——.—— gabarit de liberă trecere pentru lucrări de artă; ——..—— instalații vechi; — — — — gabarit internațional (passe—partout); //////// gabarit pentru linii electrice; b — gabarite pe drumurile publice (conf. Legii nr. 13 din 26 iulie 1974). Notă. 1 — pe calea ferată, piesele gabaritice trebuie să se înscrie în gabaritul de încărcare și numai cu derogare specială de la C.F.R. se poate admite transportul pînă la limita gabaritului de liberă trecere; 2 — pe drumurile publice piesele trebuie să aibă lățimea maximum 2,50 m, iar înălțimea pe autovehiculul încărcat de 4,0 m. Derogări se dau de MTTc.—D.Dr.; 3 — din punctul de vedere al tonajelor trebuie obținute avize speciale pentru piese mai grele de 60 t, transportate pe calea ferată și pe drumuri la autovehicule a căror sarcină este mai mare de 10 t/osie simplă pe drumurile modernizate



b

și 7 t/osie simplă pe drumurile împietruite; 4 — analiza se face pentru fiecare lucrare cu MTTc, ținîndu-se seama și de STAS, norme și legi în vigoare.

Gabara cu treilerul și piesa navighează tractată de remorcher pînă la cheiul de descărcare.

Astfel s-a transportat statorul generatorului grupului de 330 MW de la CTE Anina. De la IMG București treilerul cu statorul generatorului a circulat pe drum consolidat pînă la Oltenița, unde a fost încărcat pe gabară. De acolo pe Dunăre remorcherul a tractat gabara pînă la Moldova Nouă. De la cheiul de descărcare, treilerul cu statorul generatorului a fost remorcat pe drumuri consolidate și amenajate pînă la amplasamentul CTE Anina, constituind un succes de rezolvare a transportului printr-o zonă dificilă, în care scop s-au efectuat multe amenajări.

Pentru CNE Cernavodă piesele se transportă în mod similar pe Dunăre pînă la Cernavodă de la IMGB. Piesele sosite din import au fost aduse de la portul Constanța, pe gabară, navigînd pe canalul Dunăre — Marea Neagră pînă la Cernavodă (fig. 2).

În alte țări și la noi se mai folosesc următoarele rezolvări :

— vas de tip roll-on, roll-off (fig. 3) pe care în portul de încărcare se aduce piesa pe treiler și se trage direct pe vapor, iar la portul de destinație de asemenea nu mai este nevoie de macarale, treilerul trăgîndu-se pe un chei special amenajat pe mal, de unde își urmează drumul la amplasamentul centralei.

Transportul naval al echipamentelor este cel mai ieftin, ceea ce a fost un argument în plus pentru amplasarea majorității centralelor lîngă ape navigabile, avîndu-se în vedere și

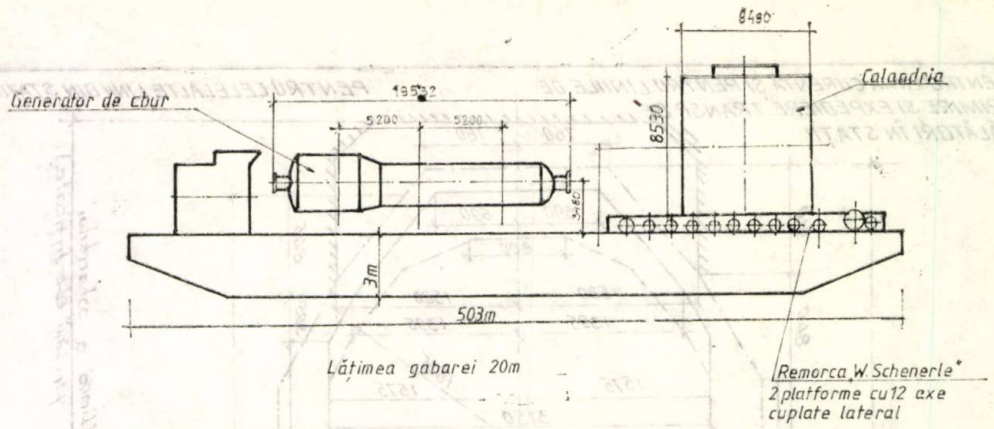
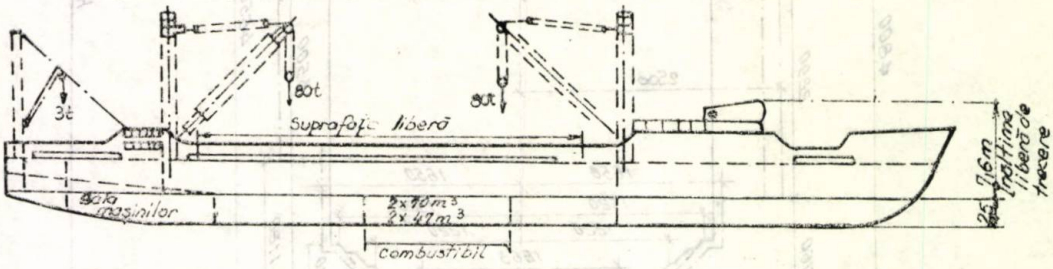


Fig. 2. Transport naval generatoare de abur și calandria pe gabara de 1 000 t.



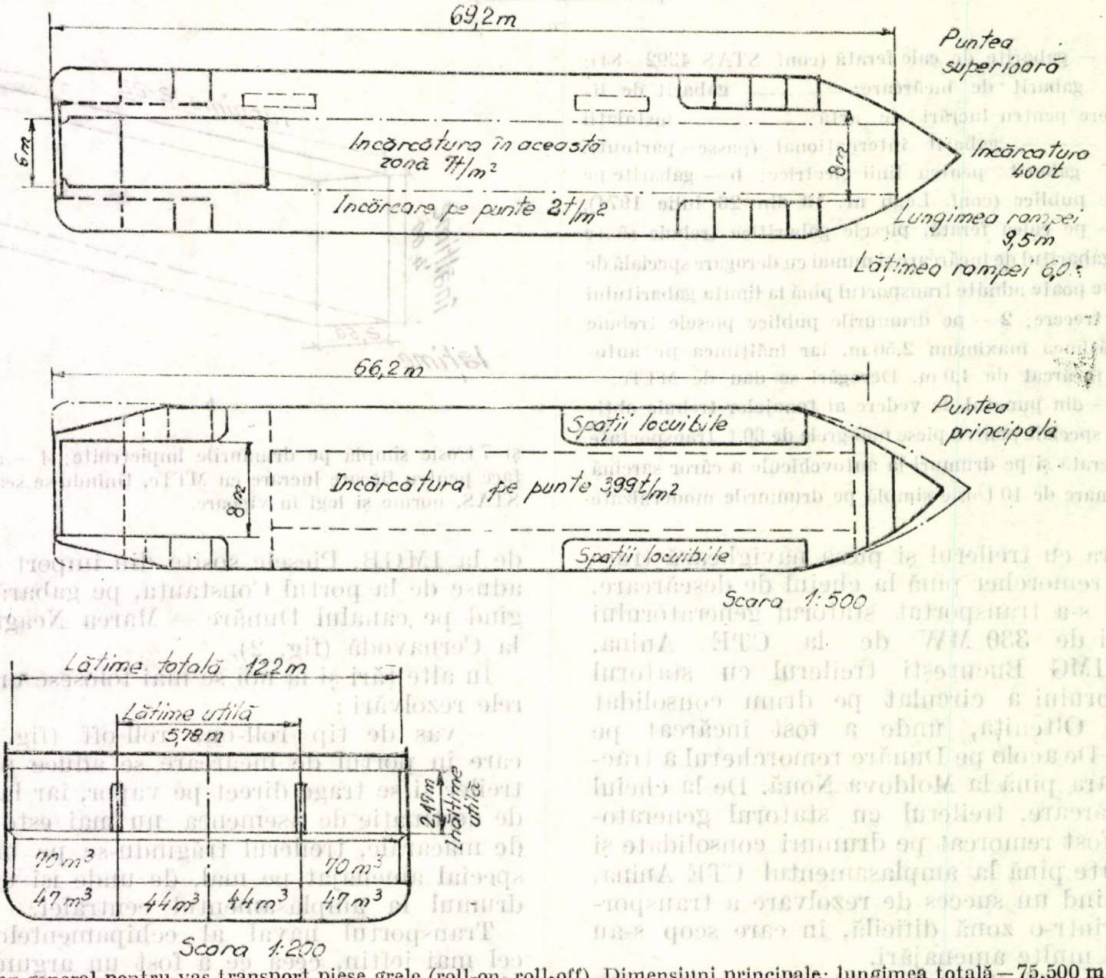


Fig. 3. Plan general pentru vas transport piese grele (roll-on, roll-off). Dimensiuni principale: lungimea totală — 75,500 m; distanța între verticale — 70,000 m; lățimea totală 13,091 m; lățimea între crevace — 13,000 m; înălțimea laterală pînă la puntea superioară — 5,500 m; înălțimea laterală pînă la puntea principală — 2,900 m; pescaj — 2,850 m.

avantajul energetic al răcirii în circuit deschis.

În Anglia, aceasta a constituit un motiv în plus pentru ca toate CNE pînă la centrala nuclearoelectrică Transfynydd să fie construite pe malul mării.

3.3. Transportul pe drumuri

La noi în țară s-au achiziționat treilere de la 20 t la 450 t capacitate între care și treilerul tip „Scheuerle" (fig. 4 și tabelul 2) cu longeroane de lungime variabilă (7—12 m). Acest treiler poate fi asamblat din grupuri de boghiuri cu platformă de 10 axe și 80 roți, platformă de 12 axe și 92 roți, platformă de 14 axe și 112 roți și platformă de 24 axe și 196 roți. S-a realizat ca platformă înaltă, treilerul RTE „Mîrșa" de 400 t cu 2 × 16 axe. De asemenea, se prevede realizarea unui treiler nou de tipul „W. Scheuerle" cu platformă joasă și cu posibilități de prindere a piesei între semiboghiuri cu capacitatea de 500 t pentru viitoarele transporturi (fig. 4 *a*). Transportul pieselor pe treiler cu longeroane se vede în figura 5.

3.4. Transportul pe calea ferată

În țara noastră s-au realizat în ultimul timp mai multe vagoane transportoare cu capacități de la 110 t la 260 t.

Astfel, pe baza temelor date de ISPE pentru transportul echipamentelor aferente termocentralei Luduș, s-au realizat :

— vagonul cu platformă scufundată cu 10 osii și sarcină de 100—120 și 140 t (fig. 6);

— vagonul cu longeroane cu capacitatea 110 t — 120 t, 130 t — 142 t cu 10 osii;

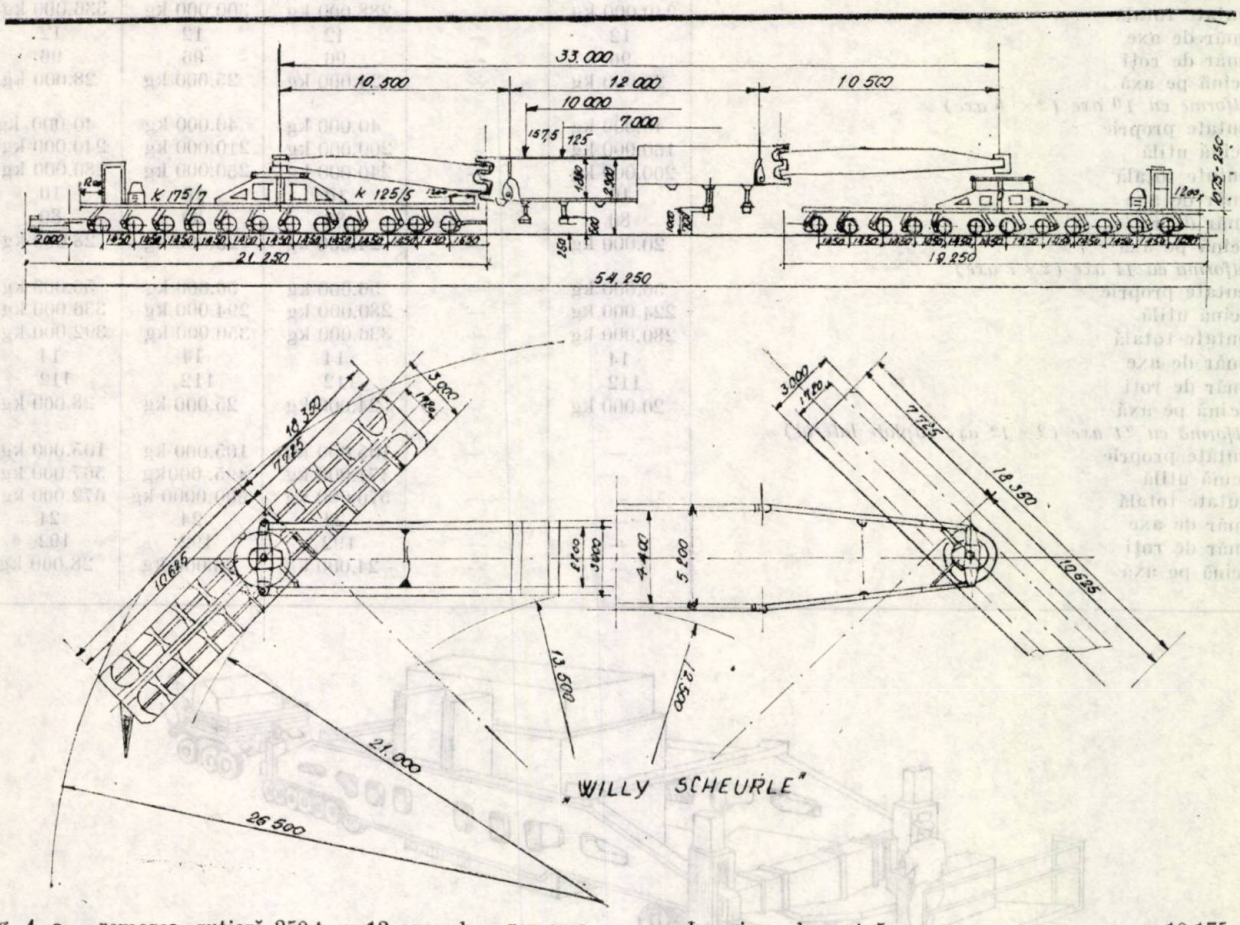


Fig. 4. a — remorca rutieră 250 t cu 12 axe; b — remorca rutieră 500 t cu 24 axe.

Caracteristicile tehnice ale remorcii de 250 t achiziționate de la firma Willy Scheuerle — R.F.G.

Caracteristici generale	
— Greutate proprie	200 000 kg
— Greutatea încărcăturii	250 000 kg
— Număr de roți pe axă	8 buc.
— Număr de roți total	129 buc.
— Sarcini pe roată	2 343 kg
Dimensiuni de gabarit	
— Lungime totală remorcă	54 250 mm
— Lungime totală remorcă în cazul în care se deplasează fără încărcătură	35 800 mm
— Lungime element 7 axe	13 075 mm
— Lungime element 5 axe	10 175 mm
— Lungime platformă 14 axe	24 200 mm
— Lungime platformă 10 axe	10 400 mm
— Lățime platformă dublă 12 axe	6 200 mm
Raze de viraj	
— Raza exterioară de viraj	26 500 mm
— Raza interioară de viraj a elementului de 5 axe	2 300 mm
— Raza exterioară de viraj a elementului de 7 axe	9 000 mm
— Raza interioară de viraj a elementului de 7 axe	3 000 mm
— Raza exterioară de viraj a platformei de 10 axe	12 000 mm
— Raza interioară de viraj a platformei de 10 axe	6 000 mm
— Raza exterioară de viraj a platformei de 14 axe	16 000 mm
— Raza interioară de viraj a platformei de 14 axe	8 000 mm
— Raza exterioară de viraj a platformei de 12 axe cuplate lateral	17 700 mm

Tabelul 2

Posibilităţile de transport cu remorcă şi platforma importată de la firma Willy Scheuerle

Caracteristici	50 km/oră	30 km/oră	20 km/oră	10 km/oră	5 km/oră
Remorca samblată					
Greutate proprie	—	200.000 kg	200. 000 kg	—	—
Sarcină utilă	—	250.000 kg	315.000 kg	—	—
Greutate totală	—	450.000 kg	515.000 kg	—	—
Număr de axe	—	24	24	—	—
Număr de roţi	—	192	192	—	—
Sarcină pe axă	—	18.750 kg	21.450 kg	—	—
Remorca fără încărcătură					
Greutate proprie	—	140.000 kg	—	—	—
Număr de axe	—	14	—	—	—
Număr de roţi	—	112	—	—	—
Sarcină pe axă	—	10.000 kg	—	—	—
Platformă cu 12 axe (5 axe + 7 axe)					
Greutate proprie	48.000 kg	—	48.000 kg	48.000 kg	48.000 kg
Sarcină utilă	192.000 kg	—	240.000 kg	252.000 kg	288.000 kg
Greutate totală	240.000 kg	—	288.000 kg	300.000 kg	336.000 kg
Număr de axe	12	—	12	12	12
Număr de roţi	96	—	96	96	96
Sarcină pe axă	20.000 kg	—	24.000 kg	25.000 kg	28.000 kg
Platforme cu 10 axe (2× 5 axe)					
Greutate proprie	40.000 kg	—	40.000 kg	40.000 kg	40.000 kg
Sarcină utilă	160.000 kg	—	200.000 kg	210.000 kg	240.000 kg
Greutate totală	200.000 kg	—	240.000 kg	250.000 kg	280.000 kg
Număr de axe	10	—	10	10	10
Număr de roţi	80	—	80	80	80
Sarcină pe axă	20.000 kg	—	24.000 kg	25.000 kg	28.000 kg
Platformă cu 14 axe (2×7 axe)					
Greutate proprie	56.000 kg	—	56.000 kg	56.000 kg	56.000 kg
Sarcină utilă	224.000 kg	—	280.000 kg	294.000 kg	336.000 kg
Greutate totală	280.000 kg	—	336.000 kg	350.000 kg	392.000 kg
Număr de axe	14	—	14	14	14
Număr de roţi	112	—	112	112	112
Sarcină pe axă	20.000 kg	—	24.000 kg	25.000 kg	28.000 kg
Platformă cu 24 axe (2×12 axe cuplate lateral)					
Greutate proprie	—	—	105.000 kg	105.000 kg	105.000 kg
Sarcină utilă	—	—	471.000 kg.	495. 000kg	567.000 kg
Greutate totală	—	—	576.000 kg	600.0000 kg	672.000 kg
Număr de axe	—	—	24	24	24
Număr de roţi	—	—	192	192	192
Sarcină pe axă	—	—	24.000 kg	26.000 kg	28.000 kg

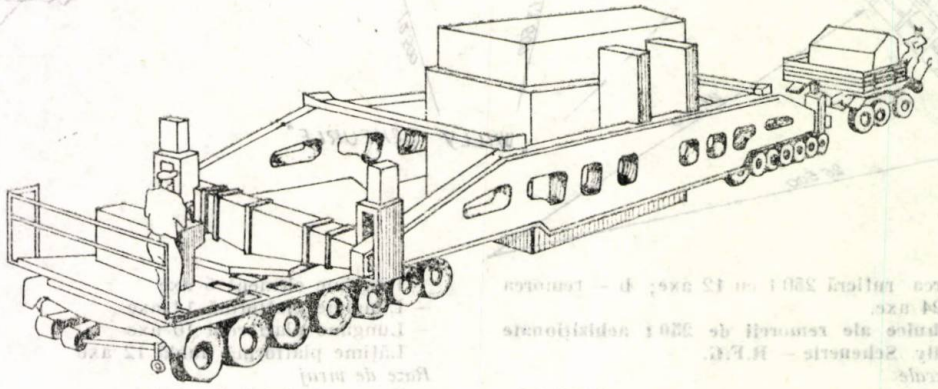


Fig. 5. Treiler 300 tone cu 14 osii.

— vagonul cu 20 osii şi capacitatea 260 t (fig. 7) de tipul cu două semivagoane (grupe de boghiuri a cîte 10 osii fiecare). Lungimea vagonului este de 32,72 m plus lungimea încărcăturii prinsă între ciocurile semivagoanelor. Vagonul a fost conceput aşa fel încît poate fi folosit şi cu longeroane la sarcină de 160—180 tone (fig. 8).

Se prevede, de asemenea, ca pe baza unui proiect întocmit de curînd să se realizeze de

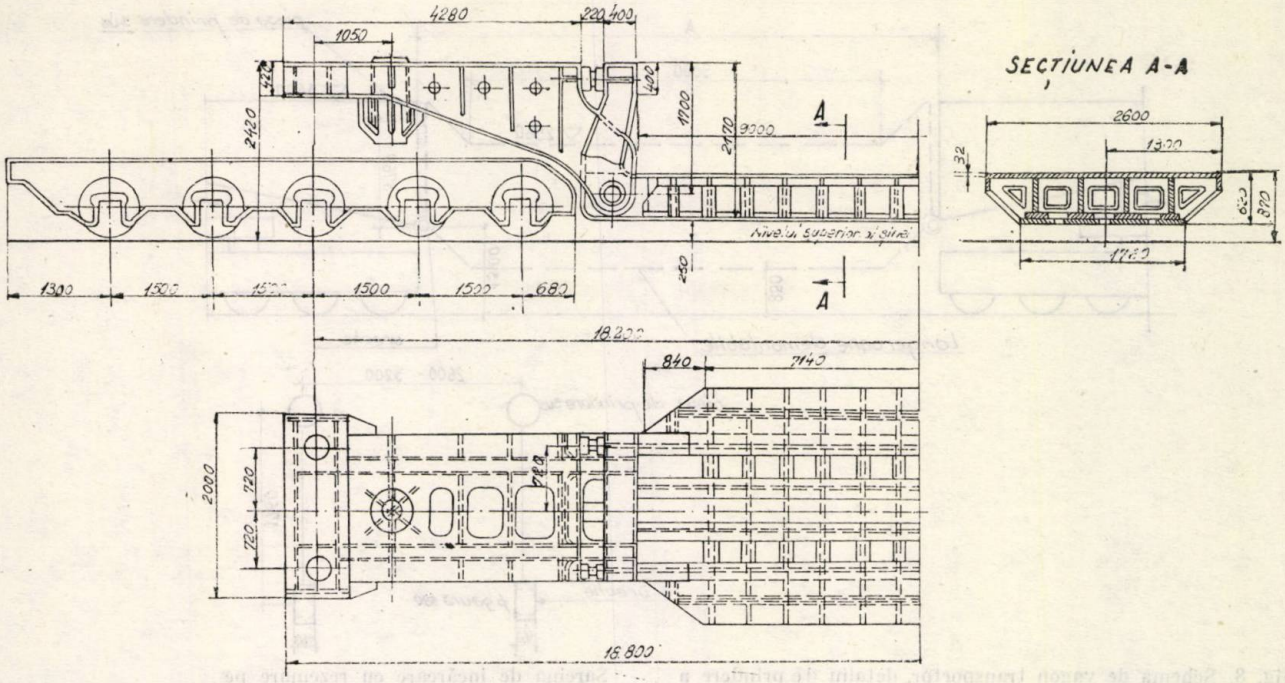


Fig. 6. Vagon cu platformă scufundată, sarcina maximă 140 tone.

— Gabaritul vagon neîncărcat — passe par-tout
— Ecartament 1435 cu posibilitatea de lărgire la 1 524 mm
— Lungimea între fețele tampoanelor 28 040 mm
— Lungimea utilă de încărcare 9 000 mm
— Lățimea utilă de încărcare 2 600 mm
— Înălțimea platformei de la șină 810 mm
— Raza de înscriere în curbă 150 mm
— Încărcarea parțială a vagonului:
— sarcina de încărcare 100 t/3 m; 120 t/6 m; 140 t/9 m
— viteza maximă 80 km/h;
— tara vagon circa 70 t

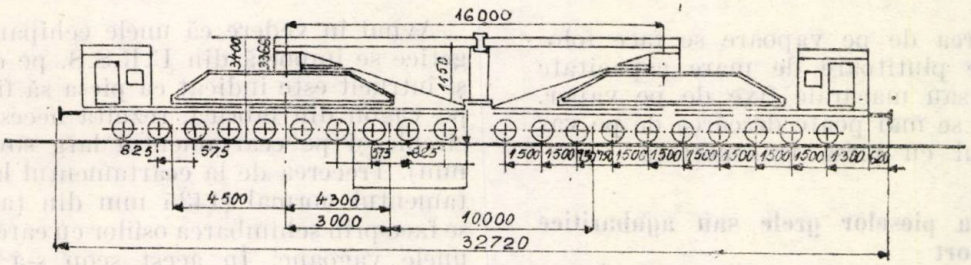


Fig. 7. Schema vagonului cu 20 osii.

Caracteristici principale

Ecartament	1 435/1 524 mm
Numărul osiilor	20
Distanța între osiile boghiului	1 500
Tara vagonului	120 t
Sarcina utilă	160—280 t
Lungimea vagonului între tampoane necomprimate	33 000mm
Lungimea între pivoții chesonului mare	nu are
Lărgimea utilă între lonjeroane	2 300/2 900 mm
Lărgimea exterioară	3 080/3 680 mm
Lungimea între pivoții chesonului	9 000 mm
Distanța între osiile extreme ale trenului de boghiuri	27650mm
Raza minimă în curbă	150 m

către Uzina de Vagoane Arad un vagon special multiosie cu 26—30 osii și 350 t capacitate pentru CNE Cernavodă și care se înscrie în raza de 100 m a căilor ferate din incinta CNE.

4. Manipularea pieselor transportate

Încărcarea pieselor la locul de fabricație nu pune problema utilajelor de ridicat, uzinele furnizoare fiind dotate cu aceste mijloace. Apare o problemă la locul de încărcare în porturi și la amplasamente cînd piesele nu sînt prinse între semiboghiurile transportorului. La noi în țară sînt macarale pe calea ferată de 65 t și 150 t, macarale plutitoare de 100 t, precum și automacarale de 25 t și 200 t.

Problema descărcării echipamentelor se poate rezolva astfel :

a) descărcarea de pe vagon la șantierul centralei se face fie folosind un dispozitiv de montaj (pentru statorul generatorului, de exemplu la CTE Luduș), fie așezînd piesa cu ajutorul cricurilor pe roțile proprii ale transformatorului sau pe un cărucior special, desfăcută din ciocurile de prindere ale vagonului sau treilerului. La sarcini mici se folosesc și podurile rulante;

b) descărcarea din vagonul de tipul cu grinzi (longeroane) pe care se sprijină piesa se face cu ajutorul macaralelor de cale ferată;

c) descărcarea de pe treilere se face fie folosind dispozitive fixe, macarale, sau demontînd grinzile unor treilere sau prin sistemul

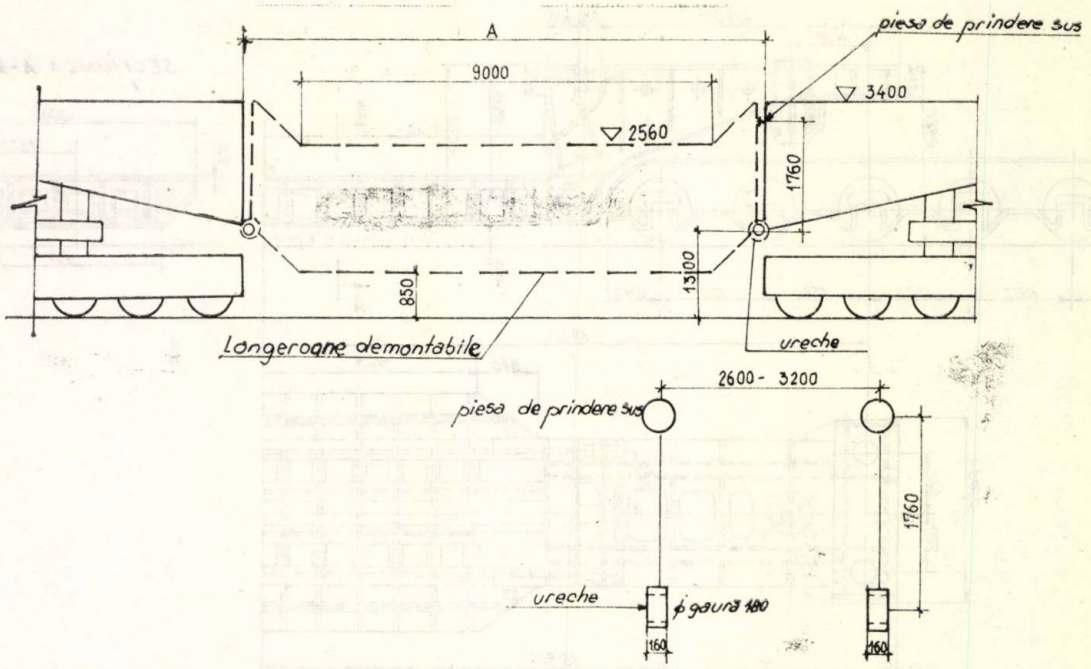


Fig. 8. Schema de vagon transportor, detaliu de prindere a încărcăturii cu și fără longeroane.

Distanța între fețele interioare ale longeroanelor	2 300—2 900 m
Distanța între axele longeroanelor	2 600—3 200mm
Sarcina de încărcare cu prindere directă	260 tone
Sarcina de încărcare cu rezemare pe longeroane	160 — 180 tone
Sarcina concentrată pe longeroane	140 tone pe 3,6 m 160 tone pe 6,0 m 180 tone pe 9,0 m

A = Distanța variabilă în funcție de încărcătură.

eșafodajelor pe care se trage piesa de pe treilere ;

d) descărcarea de pe vapoare se face folosind macarale plutitoare de mare capacitate (100—400 t) sau macarale fixe de pe vapor. De asemenea, se mai poate descărca de pe vas însuși treilerul cu piesa transportată.

5. Adaptarea pieselor grele sau agabaritice pentru transport

În funcție de calea de transport care urmează a fi parcursă de o piesă grea sau agabaritică de la uzină la locul de montaj, se stabilește, de la caz la caz, modul în care se va așeza și prinde piesa pe vagon sau treiler. De asemenea, uzinele furnizoare, ținînd seama de condițiile impuse de transport, au proiectat transformatoarele astfel încît partea inferioară și grinzile de prindere să respecte gabaritul CFR.

Prinderea statorului generatorului cu plăci de capăt de ciocurile celor două semivagoane ale vagoanelor de mare capacitate necesită dimensionarea pieselor respective, astfel încît să fie autoportante în timpul transportului.

Sînt cazuri în care datorită condițiilor grele de gabarit trebuie ca anumite condensatoare, rezervoare, calandria să fie tăiate și apoi sudate la șantier (soluție care se caută a fi evitată, deoarece ridică probleme complicate de fiabilitate și costuri mari).

6. Instalații de transpunere

Avînd în vedere că unele echipamente energetice se importă din U.R.S.S. pe calea ferată și întrucît este indicat ca piesa să fie încărcată pe vagon din fabrică, rezultă necesar ca să se circule și pe ecartamentul larg sovietic (1524 mm). Trecerea de la ecartamentul larg la ecartamentul normal (1435 mm din țara noastră) se face prin schimbarea osiilor cu care sînt dotate unele vagoane. În acest scop s-a realizat în stația Socola — Iași un canal scufundător de osii, care a fost utilizat prima dată cu ocazia transportului statorului generatorului pentru extinderea CTE Ludus cu grupuri de 200 MW.

7. Stadiul actual al rezolvării problemei în țară

Odată cu dezvoltarea rapidă a industrializării țării noastre s-a pus și problema transportului pieselor grele și/sau agabaritice.

Construirea termocentralelor Paroșeni, Ludus, Turceni, construirea CNE Cernavodă și programul energetic nuclear, construirea combinatelor chimice și siderurgice, au ridicat probleme privind găsirea unui mijloc de transport adecvat și a unui traseu care să permită transportul pieselor de la uzina furnizoare la locul de montaj.

Datorită complexității problemelor, prin legislația în vigoare, transportul pieselor grele și/sau agabaritice a fost reglementat în mod special.

De asemenea, s-au înființat secții specializate de transport în cadrul „Energoutilaj" din M.E.E. sau întreprinderi specializate ca „Transchim" din MICh, dotate cu treilere variate.

În cadrul MTTc sînt o serie de vagoane speciale, precum și vase și macarale de mare capacitate. S-au realizat amenajări ale traseelor drumurilor publice, precum și drumuri cu lățimea de 8 m și cu racordări de 25—40 m în incinta CNE Cernavodă.

Concluzii

Transportul echipamentelor grele sau agabaritice la centralele nuclearoelectrice reprezintă probleme deosebite atît din punctul de vedere al numărului de tipuri de piese, care este de circa 3 ori mai mare decît la centralele clasice, cît și din punctul de vedere al dimensiunilor și greutății acestora, constituind un criteriu pentru studiul amplasamentelor CNE.

Transportul cel mai avantajos este pe apă; dintre transporturile pe uscat mai economic este cel pe calea ferată însă cu dezavantajul dimensiunilor și greutăților mai reduse acceptate față de transportul pe drumuri. La centralele nucleare este predominant transportul cu treilere pe drumuri, iar la centralele clasice predomină transportul cu vagoane pe calea ferată.

În cadrul programelor nucleare, care reprezintă instrumente de coordonare pentru realizarea CNE prin abordarea unui număr mare de probleme noi, care interesează un număr mare de activități industriale și chiar mai multe țări, apare necesar ca să se elaboreze și programe de transport al pieselor grele sau agabaritice cu respectarea reglementărilor legale.

Proiectarea sau contractarea echipamentelor se vor definitiva numai după avizarea și stabilirea modalităților de transport.

Se va analiza cu furnizorul și posibilitatea livrării în elemente componente care să fie sudate pe șantier, în variantă cu construirea unor drumuri și poduri noi, sau consolidarea celor existente la amplasamentele depărtate de căi navigabile pe baza studiilor elaborate de institute de specialitate.

Apare necesară: — dotarea suplimentară, în special prin asimilare, cu mijloace de transport și de ridicat necesare, nave de transport, macarale de uscat sau plutitoare, treilere și vagoane de 350—500 t capacitate;

— înființarea unui colectiv special (organism profilat) coordonator la nivelul ramurii transporturilor;

— eșalonarea livrărilor, ținînd seama de graficul de montaj și de perioada de efectuare a transporturilor.

Transportul și manipularea echipamentului energetic greu și/sau agabaritic necesită rezolvări privind căile și mijloacele de transport de la furnizori la locul de montaj, în incinta centralelor pe perioada execuției, precum și în timpul exploatării pentru eventuale reparații la unele componente.

Bibliografie

[1] Dănilă, N. *Centrale nucleare electrice.* Editura Academiei R.S.R., București, 1973.

[2] Moțoiu, C., Vasilescu, N., Mingiuc, C., Wlezek, C. *Centrale nuclearoelectrice de putere mare.* Editura tehnică, București, 1974.

[3] Rașcu, P. *Organizarea transporturilor speciale în timpul construcției și al exploatării centralelor nuclearoelectrice.* În: Construcții și montaje energetice, nr. 5, 1970, București.

[4] Popovici, V. *Transportul și manipularea echipamentului energetic greu sau agabaritic.* În: Revista căilor ferate, nr. 11, 1966, București.

[5] *Norme franceze pentru alegerea amplasamentelor CNE—1975.*

[6] *HCM* nr. 770/1965.

[7] *Legea drumurilor* nr. 13/1974.

[8] *Decretul 328/1966.*

[9] IPTTc — IPTANA. *Transporturi piese grele și agabaritice la centrale electrice.* București 1965—1986.

[10] Nuclear Engineering: mai 1975, august 1975, septembrie 1975, octombrie 1975, noiembrie 1975.

[11] Power Engineering, iunie 1975, vol. 6.

[12] STAS 4392—84. — *Gabarite de cale ferată.*

[13] MTTc. *Instrucțiunea CFR nr. 328/1963 pentru tratarea transporturilor agabaritice* și *Ordinul MTTc nr. 923/1978.*

[14] AIEA — *Ghid nr. 50—SG—59 pentru studierea și alegerea amplasamentelor CNE.* Viena 1986.

[15] IRNE—IPTANA. *Studiu de soluție tehnică privind transportul principalelor componente nucleare la amplasamente CNE* București, 1987.

(Primit la 4 august 1988, acceptat la 22 septembrie 1988)

Probleme specifice și opțiuni de calcul economic la centralele nuclearoelectrice

Ing. CONSTANTIN SIMA, ing. GEORGE MARINESCU, ec. MARIA GHEORGHIU*

Descriptori: eficiența și competitivitatea centralelor nuclearoelectrice, costuri marginale, cheltuieli totale actualizate

CZ. 621.311.25: 621.039.001.24

Duratele mari de execuție, structura diferită de cheltuieli, față de obiectivele clasice, precum și costurile mari pentru dezafectarea instalațiilor la expirarea duratelor lor de viață, au implicații asupra modului de analiză și calcul ale eficienței economice a centralelor nuclearoelectrice.

Principalele aspecte prezentate în lucrare, care se consideră că trebuie clarificate prin reglementări normative, se referă la: modul cum trebuie cuprinse în calcule prețurile materialelor, ale echipamentelor și combustibilului, pentru perioada de execuție și de exploatare a obiectivului, astfel încît schimbările survenite pe plan intern sau pe piața mondială să afecteze în cît mai mică măsură rezultatele analizelor; alegerea centralei etalon și de referință pe baza căreia se determină competitivitatea centralei nuclearoelectrice; echivalarea pentru dezafectarea instalațiilor. Dat fiind duratele mari de execuție ale centralelor nuclearoelectrice, precum și nivelul tehnologic ridicat al acestor obiective, care vor avea o pondere importantă în dezvoltarea sectorului energetic, se propune micșorarea ratei de actualizare pentru ramura industriei energiei electrice și termice, de la 8% cît este în prezent, la 7%, fapt care creează condiții mai bune pentru selecționarea variantelor cu consum total de resurse mai mic.

Long execution durations, the different expenses structure as compared to the classical objectives, as well as the high costs of installations dismissal after their life duration extinction imply on the analysis and computation manner of the economic efficiency of nuclear power plants.

The main aspects presented in this paper, considered as obligatory to be clarified by norms and regulations, refer to: the manner of considering materials, equipment and fuel prices in the calculation for the objective execution and operation, thus that the changes in the domestic or foreign markets should affect to a very small extent the analysis results; the choice of the standard and reference plant helping to determine the nuclear power plant competitivity; the equivalation of the studied variants and inclusion within the calculations of the expenses by installations dismissed. Given the long nuclear power plant execution durations as well as the high technological level of these plants meant to have an utmost importance in the development of energy, the decrease of the updating rate for the electric and thermal power industry branch from 8% at present to 7%, is proposed, a fact meant to improve the choice conditions for the variants with a smaller total sources consumption.

Deși se poate afirma că datorită penuriei de combustibil programul nuclear nu are alternativă, eficiența economică a soluțiilor de realizare a centralelor electrice nucleare poate fi determinată pe baza calculelor comparative în raport cu centralele termoelectrice. În această concepție o variantă de realizare a unei centrale nuclearoelectrice este considerată eficientă dacă se poate demonstra competitivitatea ei în raport cu indicatorii tehnico-economici ai centralei electrice de referință. Criteriul folosit pentru analiza comparativă a acestor obiective este „consumul total, actualizat, de resurse", care se exprimă valoric prin cheltuielile totale, actualizate (CTA). Condiția de eficiență este realizată dacă se respectă relația :

$$CTA \leqslant CTA_0, \qquad (1)$$

în care :

CTA — reprezintă cheltuielile totale, actualizate, ale centralei nuclearoelectrice;

CTA_0 — cheltuielile totale, actualizate, ale centralei electrice de referință.

Aplicarea criteriului menționat pentru efectuarea analizelor economice a obiectivelor și instalațiilor nucleare de producere a energiei, fără a dispune de o metodă specifică de analiză și calcul care să clarifice și să țină seama de particularitățile sistemului energetic, întîmpină, însă dificultăți. Unele aspecte, insuficient clarificate, care ne reținatenția și asupra cărora vom insista în cele ce urmează, se referă la dificultățile practice de aplicare a criteriului menționat, și anume :

1 — incertitudinea privind elementele de calcul cuprinse în relația cheltuielilor totale actualizate;
2 — mărimea ratei de actualizare adoptată în calcule;
3 — alegerea sursei clasice etalon și de referință;
4 — echivalarea variantelor examinate.

* * *

1. În afara incertitudinilor inerente previziunilor pe termen lung, aplicarea practică a criteriului CTA prezintă diferențe în timp și pune

* Ing. Constantin Sima, ing. George Marinescu, ec. Maria Gheorghiu — Institutul de Studii și Proiectări Energetice, București

probleme pe plan economic, în mod special în ceea ce privește evoluția prețurilor la echipamentele și materialele necesare investiției. Problema capătă o și mai mare importanță dată fiind creșterea permanentă a prețurilor, precum și — cazul specific acestor instalații — cheltuielilor suplimentare (insuficient cunoscute) pentru asigurarea condițiilor de calitate a lucrărilor de construcții — montaj și a echipamentelor, precum și pentru siguranța nucleară (soluțiile tehnice adoptate). În prezent, formularea acestor condiții suplimentare, în raport cu lucrările și echipamentele obiectivelor clasice, are încă lacune, în special în ceea ce privește cuantificarea efectelor lor.

O primă diferențiere, pe plan economic, a obiectivelor energetice de tip clasic și nuclear, generată de condițiile specifice de execuție și exploatare, rezultă din structura cheltuielilor, sau mai exact din ponderea cheltuielilor în costul energiei produse de aceste obiective. Pentru exemplu, în tabelul 1 se prezintă ponderea principalelor categorii de cheltuieli în costul energiei produse în centralele termoelectrice și centralele nuclearoelectrice din țară și din străinătate.

Tabelul 1

Cheltuieli	Ponderea cheltuielilor în costul energiei produse de :			
	Centrale termoelectrice [%]		Centrale nuclearoelectrice [%]	
	R.S.R.	Franța[1]	R.S.R.	Franța[1]
Investiții	15	18	45	50
Exploatare	10	12	15[2]	20
Combustibil	75	70	40[2]	30

[1] Conform [1]
[2] Date calculate de autori

Dată fiind ponderea mare a cheltuielilor de investiții la centralele nucleare în raport cu centralele de tip clasic, schimbările de prețuri la materialele și echipamentele necesare execuției lucrărilor pot influența substanțial eficiența lor. În aceeași măsură, se pune problema evoluției prețului la combustibilul centralei electrice de referință, care influențează puternic mărimea cheltuielilor totale actualizate și, ca urmare, limita de competitivitate a obiectivului nuclear. Relația CTA_0 poate fi scrisă explicit în funcție de prețul combustibilului (p_0) după cum urmează :

$$CTA_0 = A_0 + B_0 \cdot p_0, \qquad (2)$$

în care :

A_0 reprezintă partea din cheltuielile totale actualizate ale centralei de referință care nu depinde de prețul combustibilului ;

$B_0 = c_s \cdot T_0(1 + w_0) \cdot E_{(d_0+D_0)}$, unde :

c_s — consumul specific de combustibil pentru energia care ar trebui produsă de centrala de referință ;

$w_0 = W_0/Q_0$ — ponderea consumului propriu tehnologic (W_0) din energia produsă anual (Q_0) ;

T_0 — durata anuală de utilizare a puterii instalate în centrala de referință ;

$E_{(d_0+D_0)}$ — operatorul de actualizare a cheltuielilor anuale, pentru durata de viață (D_0) și durata de execuție (d_0).

Fluctuațiile de preț la combustibilul utilizat de centrala de referință au deci consecințe importante asupra competitivității centralei nucleare. Stabilitatea prețurilor, precum și corectitudinea metodelor de prognoză a acestora, este subliniată în unele lucrări [1] ca o condiție pentru realizarea unor analize economice riguroase. În figura 1 se prezintă cheltu-

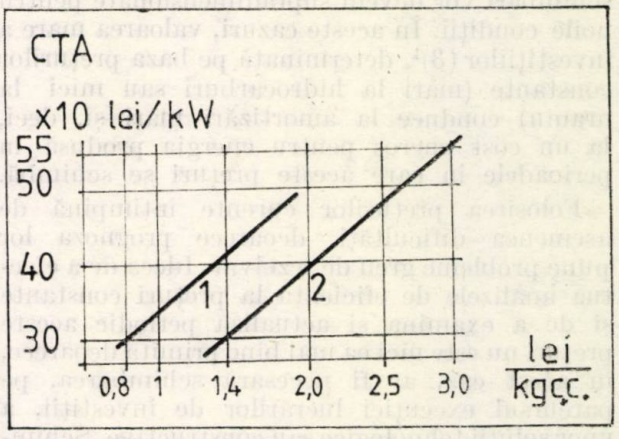


Fig. 1. Limita de competitivitate a centralelor nuclearoelectrice în funcție de prețul combustibilului pentru centrala de referință cu funcționare pe: 1 — cărbuni; 2 — hidrocarburi (pentru 1 kW instalat).

Notă : pe figură se va citi 10^3 lei/kW.

ielile totale actualizate maxime care pot fi admise, în condiții de eficiență economică (limita de competitivitate a centralei nucleare), în funcție de prețul combustibilului utilizat de centrala de referință. Eficiența centralei nucleare este influențată, de asemenea, de prețul combustibilului pe care îl utilizează ; astfel, valoarea maximă a investiției specifice, pentru capacitatea instalată, care poate fi acceptată din punct de vedere economic, poate fi scrisă sub forma :

$$i_M \leqslant \frac{K + B_0 \cdot p_0 - B \cdot p}{C}, \qquad (3)$$

în care :

p este prețul uraniului ;

C și K sînt mărimi care nu depind de prețul combustibililor.

În aceste circumstanțe rezultă, evident, că mărimea prețurilor, precum și prognozele pe termen lung asupra evoluției lor, capătă o importanță majoră la efectuarea calculelor economice.

O primă problemă care se pune, în scopul clarificării aspectelor menționate, o constituie modul cum trebuie efectuată analiza economică a obiectivelor și instalațiilor nucleare, și anume :

a) în prețuri constante, sau

b) în prețuri curente.

Utilizarea prețurilor constante este criticată uneori deoarece, evident, prețurile echipamentelor și materialelor suferă frecvente schimbări, de regulă în sensul creșterii lor, mai ales în intervalele de timp (relativ mari) în care se execută și funcționează aceste obiective. Și în cazul în care apar, de exemplu, scăderi ale prețului pentru combustibilul centralei de referință sau creșteri de preț la combustibilul nuclear, va rezulta o situație neconvenabilă, deoarece instalațiile realizate anterior acestor schimbări vor deveni supradimensionate pentru noile condiții. În aceste cazuri, valoarea mare a investițiilor (3)[1], determinată pe baza prețurilor constante (mari la hidrocarburi sau mici la uraniu) conduce la amortizări mari și, deci, la un cost oneros pentru energia produsă în perioadele în care aceste prețuri se schimbă.

Folosirea prețurilor curente întîmpină de asemenea dificultăți, deoarece prognoza lor pune probleme greu de rezolvat. Ideea de a efectua analizele de eficiență la prețuri constante și de a examina și actualiza periodic aceste prețuri nu este nici ea mai bine primită deoarece, în acest caz, ar fi necesară schimbarea, pe parcursul execuției lucrărilor de investiții, a unor soluții tehnologice sau constructive. Schimbarea soluțiilor generează însă dificultăți, mai ales dacă se ține seama de faptul că unele soluții tehnice trebuie, în prealabil, studiate, proiectate și omologate, deci o activitate care necesită durate relativ mari de timp, care pot produce perturbații în derularea lucrărilor de investiții. În unele țări (Anglia, Franța, Italia, Belgia) această problemă a fost rezolvată prin utilizarea prețurilor constante; în R.F.G. analizele de eficiență economică se efectuează însă utilizînd prețuri curente. Pentru obiectivele clasice de producere a energiei în sistemul nostru energetic calculele de eficiență economică se efectuează la prețuri constante [2] adoptînd, pentru o perioadă limitată, prețul marginal al petrolului pe piața mondială la nivelul anului 1982. În concepția autorilor prezentei lucrări, calculele și analizele pentru determinarea eficienței economice, în scopul fundamentării și alegerii soluțiilor și variantelor de investiții ale centralelor electrice nucleare, trebuie efectuate pe baza prețurilor constante, stabilite la nivelul prețurilor interne, corespunzătoare perioadei de aplicare a reglementării respective (normativul de calcul) și nu la nivelul prețurilor marginale pe piața mondială. Această prevedere ar trebui cuprinsă într-o metodă specifică de analiză și calcul al eficienței economice a CNE.

* * *

2. Există puncte de vedere diferite și asupra modului și ipotezelor de calcul pentru alegerea mărimii ratei de actualizare. Deși în unele lucrări [1] se afirmă că nu poate fi atribuită o semnificație economică sau financiară ratei de actualizare și nici o valoare numerică precisă, în concepția franceză rata de actualizare caută să reflecte rata dobînzii, fiind considerată ca un prag al rentabilității. Această concepție a condus, uneori, la decizii de creștere a mărimii ratei de actualizare[2]. În Anglia rata de actualizare este fixată astfel încît rentabilitatea investițiilor mici din domeniul public să fie egală cu cea a investițiilor similare din domeniul privat, fără a opera schimbări frecvente asupra acestei mărimi. Alte puncte de vedere [3] atribuie ratei de actualizare un rol de factor de calcul a cărei mărime corespunde nivelului tehnologic atins la fabricarea echipamentelor[3]. Potrivit acestei concepții rezultă că este deosebit de important să se schimbe (pe măsura progreselor realizate la fabricarea echipamentelor) mărimea ratei de actualizare în sensul micșorării ei, concomitent cu realizarea unor echipamente care au consumuri specifice de combustibil mai mici sau au un grad de siguranță în funcționare mai ridicat, ceea ce înseamnă micșorarea daunelor rezultate ca urmare a defectării lor. Reducerea mărimii acestei rate va permite astfel promovarea variantelor cu valori mai mari de investiții (acceptă prețuri mai mari pentru echipamentele perfecționate), dar care vor avea consumuri totale de resurse mai mici decît variantele promovate cu rate de actualizare mari, deoarece consumurile anuale (pe toată durata de funcționare a obiectivului) scad corespunzător.

---

[1] Din relația (3) rezultă că se ajunge la o investiție mai mare dacă instalația se proiectează luînd în calcul un preț ridicat pentru combustibilul centralei de referință și/sau un preț mai redus pentru uraniu.

[2] Măsura adoptată de Comisariatul General al Planului pentru pregătirea celui de al VI-lea plan (Franța) de creștere a ratei de actualizare de la 7 % la 10 % a fost determinată de creșterea dobînzilor, fapt care atestă semnificația economică acordată acestui factor. În unele lucrări [4] a fost subliniat, de asemenea, rolul ratei de actualizare de a asigura echilibrul dintre cererea și oferta de capital și de repartizare a fondurilor potrivit rentabilității scontate. Atribuirea acestor funcții ratei de actualizare conduce la stabilirea mărimii ei în funcție de dobînda la capital și a ratei de creștere a venitului.

[3] Rentabilitatea investițiilor nu se asigură de rata de actualizare sau de mărimea acesteia, ci de gradul de perfecționare a echipamentelor. Rata de actualizare are doar rolul de a selecționa variantele analizate potrivit efectelor lor economice și raportului dintre cheltuielile de investiții și cheltuielile anuale de producție.

Obiectivele energetice nucleare, care pun problema unor tehnologii avansate, cu investiții specifice mai mari decît centralele termoelectrice și respectiv cheltuieli anuale de producție mai mici (tabelul 1) au nevoie, pentru a fi promovate, de rate de actualizare mai mici decît în cazul obiectivelor clasice. Ca urmare, apare necesară examinarea aprofundată a posibilităților de realizare a unor echipamente cu performanțe superioare care să poată reduce consumurile specifice de combustibil sau daunele datorate defectării lor și în acest caz să se reducă mărimea ratei de actualizare de la 8% (cît a fost stabilită în 1975) la 7%. Această reducere, în cazul în care pot fi furnizate echipamente corespunzătoare, permite alegerea variantelor avînd valori de investiții cu 10—15% mai mari, dar care creează avantaje pe termen lung prin reducerea consumurilor anuale de resurse cu 4—6%.

* * *

3. Alegerea centralei de referință, în scopul comparării consumurilor de resurse ale variantelor analizate, este încă o problemă controversată. Prin reglementările normative în vigoare [2] au fost adoptate ca centrale etalon, și de referință, la producerea energiei electrice în regim de bază, centrala de condensație de 4 × 330 MW funcționînd pe păcură la 2000 lei t c.c. și centrala de același tip și profil cu funcționare pe lignit la 1126 lei/t c.c. Există însă unele puncte de vedere care resping aceste etaloane de comparație, deoarece, ca urmare a lipsei de combustibil, aceste centrale nu mai reprezintă soluții viabile, care să poată fi promovate în cazul în care obiectivele analizate nu sînt competitive. Dacă din mai multe variante elaborate pentru realizarea unei centrale electrice nucleare va fi selecționată, cu ajutorul criteriului menționat, varianta cea mai eficientă, compararea acesteia cu soluțiile marginale de producere a energiei trebuie totuși efectuată, pentru a demonstra astfel că varianta respectivă este și competitivă. Fără această comparație ar putea fi promovată o soluție care, deși mai eficientă decît celelalte (cu care a fost comparată) să impună eforturi (consumuri de resurse) mai mari decît s-ar aloca într-o centrală clasică (de referință) pentru obținerea acelorași efecte. În fond, alegerea centralei etalon și de referință se rezumă la stabilirea unor indicatori, a unor niveluri limită (plafon) de consumuri, pînă la care pot fi alocate resursele în vederea producerii energiei. Pentru aceasta, atît pe baza experienței proprii [2], cît și pe baza experienței din alte țări, s-au stabilit[4] mărimile acestor indicatori în două ipoteze (centrala de referință pe hidrocarburi și centrala pe cărbuni). Au rezultat, astfel, pentru producerea energiei electrice în regim de bază indicatorii de referință din tabelul 2. Mărimile acestor indicatori de referință, care

Tabelul 2

Mărimile de calcul și elemente de cheltuieli	Valorile normate de calcul în ipoteza:	
	centrala de referință pe hidrocarburi	centrala de referință pe cărbuni
Investiția specifică (i_0) [mii lei/kW]	7100	12700
Prețul combustibilului (p_0)[lei/tc.c.]	2000	1126
Consum specific de combustibil (c_s) [tc.c./MWh]	0,365	0,400
Durata de execuție a investiției (d_0) [ani]	5	6
Durata anuală de utilizare a capacității instalate (T_0) [h/an]	6000	6000
Consumul propriu tehnologic (w_0) [%]	7	10
Cheltuieli anuale pentru întreținere și reparații curente (c_{i0}) [mii lei/an]	0,3% I_0	0,5% I_0
Cheltuieli anuale pentru reparații capitale (c_{RKO}) [mii lei/an]	6,6% I_0	4,0% I_0
Cheltuieli anuale diverse (c_{d0}) [mii lei/an]	0,2% I_0	0,5% I_0

pot fi considerate norme de calcul, sînt supuse schimbărilor în timp fiind necesară revederea lor pe măsura apariției în sistem a unor noi obiective cu performanțe superioare.

* * *

4. Variantele de realizare a obiectivelor nucleare au, de regulă, caracteristici care le diferențiază de variantele obiectivelor de referință. Compararea economică a eforturilor (consumurilor de resurse) corespunzătoare variantelor ale căror caracteristici și condiții de realizare sînt diferite poate fi efectuată numai dacă acestea se echivalează, în prealabil, din punctul de vedere al efectelor obținute. Pentru a putea deci analiza eficiența și competitivitatea obiectivelor energetice nucleare se impune cu necesitate echivalarea variantelor respective din punctul de vedere al:

— momentului de punere în funcțiune a obiectivului;
— duratei de execuție;
— capacității instalației;
— duratei anuale de utilizare a capacității instalate (producției anuale de energie);
— gradului de siguranță în funcționare;
— duratei de viață (funcționare) a instalației.

[4] Indicatorii centralei de referință se calculează cu datele din tabelul 2.

Dacă echivalarea din punctul de vedere al termenului de punere în funcțiune și echivalarea variantelor după duratele de execuție este relativ simplu de realizat, pentru capacitatea de producție echivalarea se realizează prin stabilirea unei centrale etalon și de referință de putere corespunzătoare, așa cum s-a arătat mai sus. În ceea ce privește echivalarea după durata anuală de utilizare a capacității instalate (producția anuală de energie), se impun unele precizări. În tabelul 2 limitele maxime ale indicatorilor de referință au fost stabilite pentru durata anuală de utilizare a capacității instalate (T_0) de 6000 ore/an. În cazurile în care durata anuală de utilizare a capacității instalate în centrala nucleară (T_1) este diferită de mărimea (T_0), compararea variantelor se poate face numai după ce acestea au fost echivalate. În acest caz, în relația cheltuielilor totale actualizate ale centralei de referință se introduce un factor suplimentar egal cu $P_1(T_1 - T_0)$, în care P_1 este capacitatea instalată în centrala nucleară. Echivalarea variantelor după durata de viață a instalațiilor și echivalarea după gradul de siguranță în funcționare se realizează conform prevederilor normative [2]. Trebuie totuși menționat cazul specific centralelor nucleare la care date fiind cheltuielile relativ mari care se efectuează cu ocazia dezafectării, este necesar să se calculeze atît valoarea remanentă, cît și valoarea reziduală. În fond, cheltuielile necesare pentru dezafectarea centralelor nucleare, a neutralizării și depozitării deșeurilor radioactive sînt cheltuieli de investiții efectuate la expirarea duratelor de viață a obiectivelor respective. Cuprinderea în relația cheltuielilor totale actualizate a acestor cheltuieli sub forma unor investiții alocate în momentul ieșirii din funcțiune a centralelor are același rezultat ca în cazul evidențierii acestora sub forma unor valori reziduale. Dar, spre deosebire de obiectivele de tip clasic, la centralele electrice nucleare valoarea reziduală a instalațiilor poate apărea cu semnul pozitiv, ceea ce înseamnă că prin dezafectare nu se realizează economii rezultate din materialele recuperate, ci vor apărea cheltuieli în plus.

Bibliografie

[1] * * * *Méthode de calcul de coût de production de l'énergie électrique, à partir des centrales thermiques classiques et nucléaires.* Bulletin UNIPEDE, nr. 82/1977.

[2] * * * *Normativ privind calculele comparative tehnico-economice la instalațiile de producere, transport și distribuție a energiei electrice și termice.* MEE, 1982.

[3] Marinescu, G. *Influența mărimii normative a ratei de actualizare asupra consumului de resurse al investițiilor.* În: Energetica, 32, 1985, nr. 1, p. 1—7.

[4] Guillaume, M. *Du relèvement du taux d'actualisation.* În: Revue Economie Appliquée, tomme XXX, 1968, nr. 3—4.

(Primit la 28 ianuarie 1988, acceptat la 3 mai 1988)

NOUTĂȚI

Din energetica mondială

Regulator de frecvență dotat cu computer

Sistemul electroenergetic al Berlinului de Vest, care este izolat, funcționează cu mari variații de sarcină, cu efecte destabilizatoare. De exemplu, la ieșirea din funcțiune a celui mai puternic agregat electroenergetic, de 252 MW, aruncarea de sarcină asupra generatoarelor sincrone rămase în funcțiune este, în orele de vîrf, de 15%, fapt care, chiar la posibilitățile existente ale reglajului automat de frecvență, conduce la scăderea frecvenței, în 2,5 secunde, la 48,7 Hz.

Condițiile deosebite de funcționare a sistemului electroenergetic, cu o variație mximă permisă de sarcină de 30MW la o viteză de variație de maximum 5 MW/s, condiționează utilizarea tehnicii microprocesoarelor pentru reglajul automat al frecvenței, în limitele de 50+0,2 Hz. În acest scop a fost elaborat și dat în exploatare un sistem centralizat de reglare automată a frecvenței, pe 3 niveluri, pe bază de microprocesoare.

Sistemul este dotat cu indicatoare semigrafice ale regimului, pe displayuri multicolore și funcționează cu măsurarea parametrilor electrici într-un cod cifric. În afară de acționarea asupra regulatoarelor turbinelor, sistemul asigură reglarea automată a acumulatoarelor tampon, calculate la descărcarea pe o durată de 3 minute cu o viteză de 19 MW/min.

În articolul publicat pe această temă în „Bull. Schweitzerische electrotechn. Ver" 1988, 79, nr. 13 de Naser și Lienhard, sînt redate descrierile principiului de măsurare cifrică a frecvenței și ale structurii sistemului de reglaj automat al frecvenței.

(După: Referativnîi journal 22 Energhetika, vol. general 10/1988, poz. 10J116)

Considerații comparative asupra stațiilor electrice de 750 kV realizate în țările membre ale CAER

Ing. PAUL EMIL RAȘCU*

Descriptori: stații electrice de foarte înaltă tensiune

C.Z: 621.311.4

Se expun considerentele în favoarea integrării sistemelor țărilor est-europene într-un sistem energetic unic și în legătură cu aceasta se prezintă comparativ principalele componente ale stațiilor de 750 kV realizate pînă în prezent în R.P.U., R.P.P., R.S.R. și R.P.B., și anume: schema electrică, echipamentele, amplasamentul, planul general și soluțiile constructive, instalațiile de comandă, control, protecție și automatizare, serviciile proprii și transportul pieselor grele și agabaritice. Articolul este însoțit de tabele și fotografii ilustrative și cuprinde comentariile și justificarea unor opțiuni în alegerea soluțiilor principale adoptate.

The considerations favouring an integration within a unique power grid of the East European national power grid are presented. In this respect, a comparison between the main component parts of the 750 kV sub-stations built so far in Hungaria, Poland, Romania and Bulgaria is given. The comparison outlines: the electric diagram, equipment, location, general plan and construction solutions, control, survey, protection and automation installations, eigenservices and the transport of heavy agabaritic parts. The report includes tables and pictures as well as the comments and options, justifications for the choice of main adopted solutions.

Comparative Considerations about 750 kV Sub-stations Erected in Comecon Countries

(Condensed from the paper in Romanian)

The paper underlines the main advantages of a unique power system and the works carried out to this purpose on the Eastern European Comecon countries. Since the efficiency of the interconnections between the different parts of the unique power system grows with the voltage increase of these lines, while the specific costs decrease, the voltage value of 750 kV has been chosen for these interconnections, the highest voltage used industrially worldwide at present.

The activities carried out to this purpose consist in achieving the following 750 kV sub-stations and main lines :

— in the year 1978, a 750 kV OH/L has been erected and put in operation between the USSR and Hungaria reaching from Vinitza, Western Ukraine, to Albertirsa, Hungaria, at about 40 km south-east from Budapest ;

— in the year 1985 another 750 kV OH/L between the USSR and Poland was commissioned : from the NPP Hmelnitzky to south-east Poland at the Jeshuv (Widelca) sub-station ;

— in the year 1986 a 750 kV OH/L from the USSR passing through Romania, from the NPP South Ukraine, having the sub-station Isaccea on the Romanian territory located at about 33 km west of the city of Tulcea has been achieved and put in operation ;

— in the year 1988 a 750 kV OH/L has been completed and commissioned connecting the USSR and Bulgaria through Romania : on the Bulgarian territory the sub-station Dobrudzha was erected located at about 30 km west of Varna ;

— a new 750 kV OH/L between the USSR, Poland and GDR is to be set up in the year 1990.

All these interconnection lines, operated at present radially from the USSR, are to be interconnected on the territory of the European socialist countries in the future, amplifying thus the qualities of the unique power system.

For all the above mentioned cases the basic electric diagram selected consists of 1.5 breakers per circuit, i.e. every second circuit having a spare breaker. For the case of a smaller number of circuits the electric diagram for the initial stage has been simplified accordingly, to the triangle or quadrangle diagram.

All the substations have been equipped with two units of autotransformes with equal power each as well as with two units of monophasic compensation coils each, except the Dobrudzha sub-station from Bulgaria where eight units of 50 MVAR condensers each and two 100 MVAR thyristor controlled coils are to be installed.

Profiting of the experience gained during almost three decades of manufacturing 750 kV equipment and of the supply facilities from the USSR, all the above mentioned sub-stations were equipped with 750 kV equipment, 750 kV, 417 MVA monophasic autotransformers and 110 MVAR monophasic compensation coils made in the USSR. Some exceptions are to be pointed out, i.e. the sub-station Albertirsa, Hungaria, was equipped with 367 MVA monophasic transformers made by GANZ-Budapest as well as some other facilities in other sub-stations supplied by BBC, ASEA or other firms from FRG, Poland or other countries but very few in number.

The paper presents detailed electrical and manufacturing parameters for all the equipment and main materials used in all the sub-stations located within the East European socialist countries.

Regarding the locations of these transformer sub-stations, they have been chosen in areas with complete environmental protection and with more 400 kV eines used for the power injection in the national grids.

All these sub-stations have modern access roads but none is connected to the railroad. The paper presents a comparison of the distances between these sub-stations and main roads, railroads and the closest inhabited areas.

Using the experience gained in the USSR, all 750 kV connection sub-stations are practically similar, they are of a

* Ing. Paul Rașcu — Institutul de Studii și Proiectări Energetice, București

medium height, the equipment is placed on basements whose height does not require protection fencing for the operation personnel. The sub-stations have generally three voltage levels, of the equipment terminals, of the bus-bars and of their overrvoltage connections, having as a dimensioning basis :

— distance between phase and earth : $A_0 = 5500$ mm

— distance between two phases : $A = 8000$ mmï

The cable layings consist of metallic profiles and among them on separate posts or on the posts of the substation itself, only in the sub-station Isaccea, Romania, there are mounted the lightning arresters and the lighting supports.

All the sub-stations are equipped with central control, measurement, signalizing and automation equipment using the most up-to-date facilities, high efficiency protections, double transmission ways and advanced computer techniques.

The supply of all a.c. auxiliaries consumers is performed in all cases by a medium voltage network, with several transformer boxes equipped with units having powers of 1 — 4 MVA.

The main supply of the medium voltage network has been performed usually form the tertiary 750/400/15 kV autotransformer windings through breakers and reactance coils except the sub-station Isaccea, Romania where special transformers were used connected non-stop to the tertiary windings terminals.

The reserve supply of the medium voltage networks within the stations is provided from the local lines.

The supply of d.c. auxiliaries consumers is ensured in all cases from storage battery of corresponding dimensioning and with inverters.

Except the Dobrudzha sub-station, Bulgaria, endowed with SF_6 arc extinguishing switches actuated by compressed air produced in separate facilities for every equipment in the-other sub-stations compressed air switches for the arc extinguishing and for actuation were used ; therefore the compressed air facilities produce air at 23 MPa and its distribution networks operate at 4 MPa.

At the erection of all 750 kV sub-stations adequate measures against the influence of intense electric fields were applied by locating the installations unitas outside the normal circulation range of the operating personnel, by installing metallic earth connected screens along the access ways to the posts and mainly in the rest places of the personnel as well as by introducing complete protection equipment made of metallized earth connected tissues. To the same purpose secondary circuits cables were protected as well as the areas between the posts and the inhabited surrounding areas.

The paper analyzes comparatively a series of erection problems for each 750 kV sub-station insisting on the transportation of heavy and agabaritic parts which were shipped to the sub-stations Isaccea, Romania and Dobrudzha, Bulgaria.

Concludingly, the paper presents considerations about the technical level of the installations, of the erection and operation personnel training. mentioning the works completement durations and the progresses achieved during several achievement stages.

Considerații generale

În ultimii ani se manifestă o tendință justificată de realizare a sistemului energetic unificat al țărilor din Europa de răsărit, ca urmare a avantajelor ce rezultă, atît în situații normale de funcționare, cît și în caz de avarie, pentru colaborarea avantajoasă a diferitelor tipuri de centrale de vîrf și de bază, pentru preluarea vîrfurilor de putere și utilizarea unei rezerve turnante comune, pentru creșterea stabilității funcționării sistemelor energetice, pentru reducerea pierderilor de putere în rețele etc.

Crearea sistemului energetic unificat este favorizată de faptul că în partea europeană a U.R.S.S., datorită consumurilor deosebit de mari și resurselor energetice locale insuficiente, s-a luat hotărîrea să se construiască în utimii ani mari centrale electrice cu puteri de 4000 —6000 MW. Întrucît alimentarea unor astfel de supercentrale cu combustibili convenționali necesită transporturi deosebit de dificile, fie solicitînd material rulant și căi de comunicație pentru combustibili solizi, fie solicitînd pipeline și stații de pompare pentru combustibilii lichizi sau gazoși, s-a adoptat cu fermitate realizarea acestor centrale pe combustibilul nuclear în filiera cu uraniu îmbogățit, ceea ce reduce problema transporturilor combustibilului și a reziduurilor respective la solicitări nesemnificative.

Cantitățile mari de apă de răcire necesare funcționării acestor centrale nuclearoelectrice se obțin, fie din marile fluvii ce brăzdează zona (Nistru, Bug, Nipru, Don etc.), fie din marile lacuri de acumulare create aici în epoci anterioare, fie din acumulările de apă ale unor centrale hidroelectrice cu pompare care se construiesc în zonă și care vor coopera optim cu centralele nuclearoelectrice, ce au o funcționare predilectă la baza curbelor de sarcină a sistemelor energetice.

Față de creșterea consumurilor de energie electrică în toate țările membre ale CAER, cu excepția U.R.S.S., se manifestă o penurie de combustibili clasici, fie efectivă, fie datorită utilizării acestora cu precădere în industria chimică în vederea valorificării lor superioare. În vederea satisfacerii cererii de energie toate aceste țări pot opta pentru una din alternativele : de a procura combustibili convenționali, de a realiza programe naționale de construcții de centrale nucleare sau de a importa direct energia electrică necesară.

Costurile medii relative solicitate de transportul pe o aceeași distanță a unei aceleiași cantități de energie, se prezintă astfel :

— energie electrică transportată prin LEA	100 %
— cărbune transportat cu trenul	72 %
— gaze transportate prin conducte	38 %
— petrol transportat prin conducte	14 %
— combustibil nuclear	6 %

Cunoscînd aceasta, opțiunea se îndreaptă spre ultimul tip de centrale. Realizarea acestora necesită însă pe lîngă mari eforturi de investiții și abordarea unor tehnologii noi, în mare măsură neasimilate în țările membre CAER. În această situație soluționarea problemelor energetice ale țărilor socialiste est-europene în etapa actuală nu se poate baza numai pe programe intensive de construcții de centrale nucleare proprii. Ca urmare s-a convenit prin acorduri interguvernamentale, ca astfel de centrale să fie construite în U.R.S.S. pe baza unor cote de participare la investiția respectivă achitate de țările socialiste est-europene, cheltuieli ce urmează a fi compensate ulterior prin livrări de

energie electrică din U.R.S.S. către aceste țări, acorduri ce lasă și posibilitatea de a fi extinse în anii următori.

Interconectarea sistemului energetic din partea europeană a U.R.S.S. cu sistemele energetice naționale ale țărilor socialiste din estul Europei este prevăzută a se realiza prin linii magistrale cu mare capacitate de transport, adoptîndu-se în acest scop tensiunea alternativă de 750 kV, cea mai înaltă tensiune alternativă utilizată industrial în lume în prezent. Adoptarea acestui nivel de tensiune, justificat prin calcule tehnico-economice, se dovedește mai puțin determinată de necesitatea de a efectua transporturi importante de energie electrică la distanțe mari, cît de a asigura legături puternice pentru schimburile de puteri de intrajutorare în cazuri de avarie între diversele sisteme energetice naționale.

Prima magistrală de transport de 750 kV pe direcția E—V s-a construit și pus în funcțiune încă din anul 1978 între U.R.S.S. și R.P.U., respectiv artera Vinița — Ucraina de V—Albertirșa, ultima stație fiind situată la circa 40 km SE de Budapesta.

O a doua magistrală de transport de 750 kV s-a construit și pus în funcțiune în anul 1985 între U.R.S.S. și R.P.P., respectiv artera CNE Hmelnițchi — Jeșuv (Widelca), stație situată în sud-estul R. P. Polone.

O a treia magistrală de transport de 750 kV s-a construit și pus în funcțiune în anul 1986, între U.R.S.S. și R.S.R., respectiv artera CNE Ucraina de Sud — stația Isaccea, situată pe malul Dunării, la vest de orașul Tulcea. Artera este prelungită în continuare pînă în R.P.B. la stația Dobrudja, situată la circa 30 km vest de orașul Varna (pusă în funcțiune în cursul lunii mai 1988).

Este prevăzută realizarea unei a patra magistrale de transport de 750 kV în regiunile de nord, între U.R.S.S. — R.P.P. — R.D.G., cu punere în funcțiune în anul 1990.

Este de așteptat ca aceste linii magistrale de 750 kV, în prezent radiale, să fie în viitor prelungite și buclate, pentru a asigura o eficiență cît mai mare a interconexiunii sistemelor energetice naționale.

1. Schema electrică

Cunoscînd importanța foarte mare ce o capătă pentru fiecare sistem energetic al țărilor socialiste păstrarea legăturii magistrale de 750 kV (pierderea ei bruscă poate determina mari deficite de energie la nivel național, instabilități în funcționare și chiar pierderea surselor de putere proprii) s-a acordat o atenție deosebită realizării acestor instalații la un nivel de fiabilitate cît mai ridicat.

În domeniul schemelor electrice s-a acceptat, plecînd de la experiența cîștigată la acest nivel de tensiune în U.R.S.S., Canada și S.U.A., utilizarea în general a unor scheme de tipul cu 1,5 întrerupătoare/circuit, deci se acordă fiecărui circuit cîte 0,5 întrerupătoare de rezervă și cîte două căi de alimentare [1, 2] (fig 1*a*, 1*b* și 3*a*).

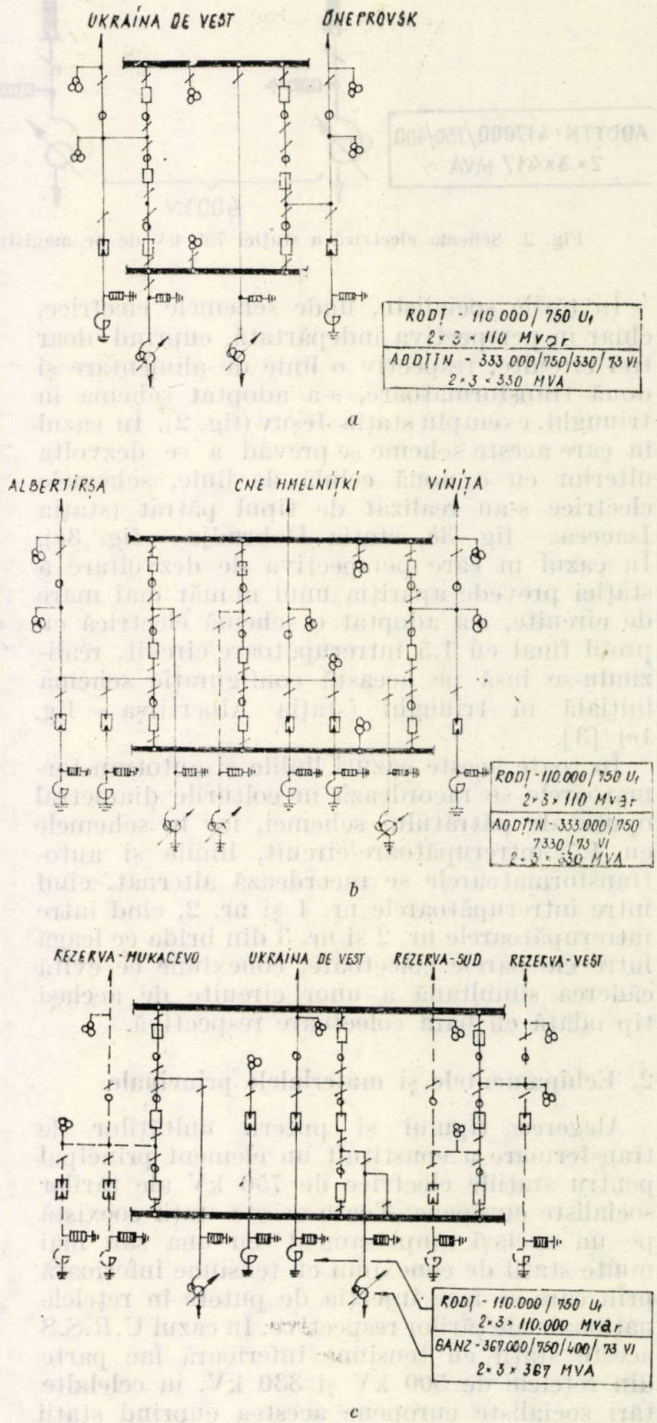


Fig. 1. Schemele electrice ale stațiilor 750 kV de pe magistrala pusă în funcțiune în 1978: a — stația 750 kV Vinița — U.R.S.S. (schema inițială pătrat); b — stația 750 kV Ucraina de Vest — U.R.S.S. (schema cu 1,5 întrerupătoare/circuit); c — stația 750 kV Albertirșa — R.P.U. (schema triunghi cu 1,5 întrerupătoare/circuit).

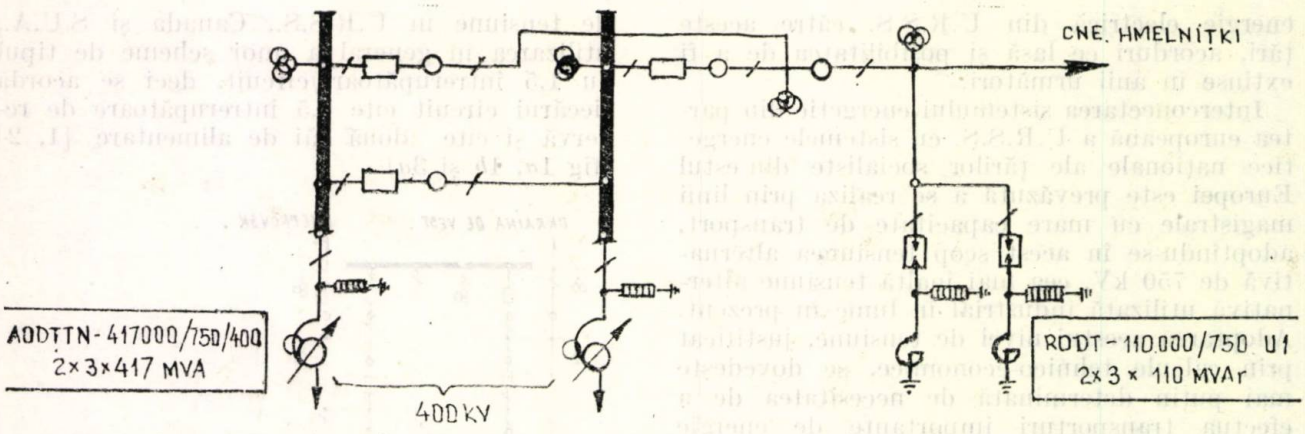


Fig. 2. Schema electrică a staţiei 750 kV de pe magistrala pusă în funcţiune în 1985. Staţia Jeşuv — R.P.P.

În ţările socialiste, unde schemele electrice, chiar în perspectiva îndepărtată, cuprind doar trei circuite, respectiv o linie de alimentare şi două transformatoare, s-a adoptat schema în triunghi, exemplu staţia Jeşuv (fig. 2). În cazul în care aceste scheme se prevăd a se dezvolta ulterior cu o nouă celulă de linie, schemele electrice s-au realizat de tipul pătrat (staţia Isaccea — fig. 3*b*, staţia Dobrudja — fig. 3*c*). În cazul în care perspectiva de dezvoltare a staţiei prevede apariţia unui număr mai mare de circuite, s-a adoptat o schemă electrică cu profil final cu 1,5 întrerupătoare/circuit, realizîndu-se însă pe această configuraţie schema iniţială în triunghi (staţia Albertirşa — fig. 1*c*) [3].

În toate aceste cazuri liniile şi autotransformatoarele se racordează în colţurile diametral opuse ale pătratului schemei, iar în schemele cu 1,5 întrerupătoare/circuit, liniile şi autotransformatoarele se racordează alternat, cînd între întrerupătoarele nr. 1 şi nr. 2, cînd între întrerupătoarele nr. 2 şi nr. 3 din brida ce leagă între ele barele colectoare, conexiune ce evită căderea simultană a unor circuite de acelaşi tip odată cu bara colectoare respectivă.

2. Echipamentele şi materialele principale

Alegerea tipului şi puterii unităţilor de transformare a constituit un element principal pentru staţiile electrice de 750 kV ale ţărilor socialiste europene. Toate aceste staţii coexistă pe un acelaşi amplasament cu una sau mai multe staţii de conexiuni cu tensiune inferioară prin care se face injecţia de putere în reţelele naţionale ale ţărilor respective. În cazul U.R.S.S aceste staţii cu tensiune inferioară fac parte din reţelele de 500 kV şi 330 kV, în celelalte ţări socialiste europene acestea cuprind staţii de 400 kV (staţiile Albertirşa, Isaccea şi Dobrudja) sau staţii de 400 kV şi 110 kV cînd conexiunea de 750 kV s-a amplasat în extinderea unor instalaţii existente (staţia Jeşuv).

Unităţile de transformare adoptate au asigurat, ca urmare, în toate cazurile ţărilor socia-

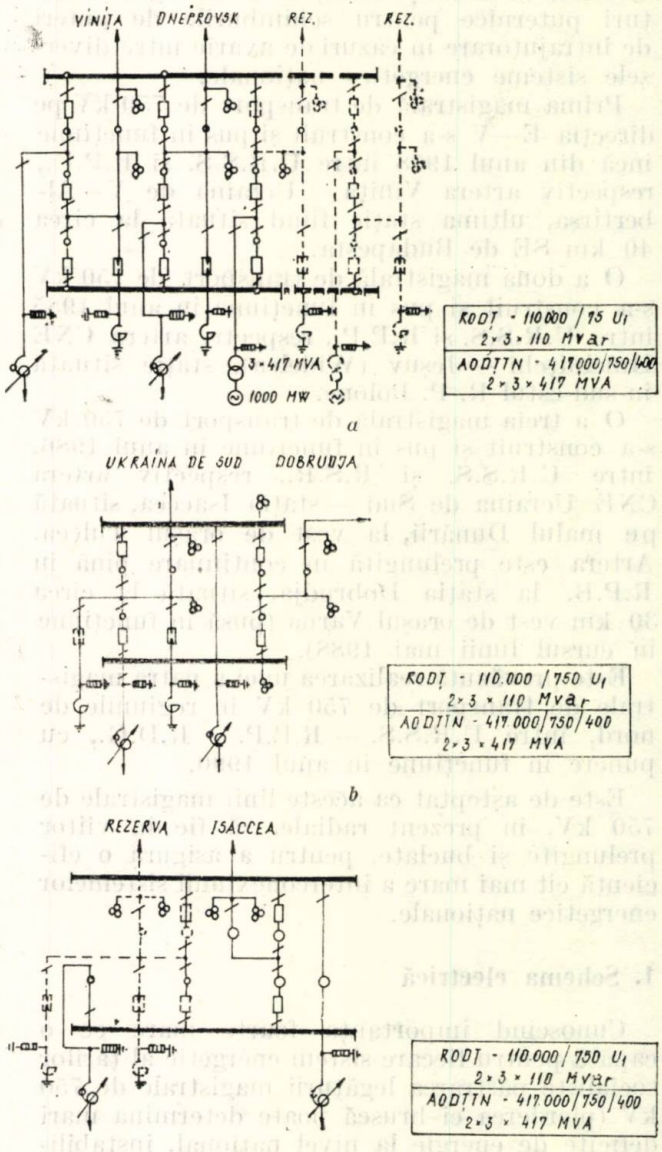


Fig. 3. Schemele electrice ale staţiilor 750 kV de pe magistrala pusă în funcţiune în 1986—1988: a — staţia 750 kV Ucraina de Sud — U.R.S.S. (schema iniţială cu 1,5 întrerupătoare/circuit); b— staţia 750 kV Isaccea — R.S.R. (schema pe etape bloc linie autotrafo, triunghi, pătrat); c — staţia 750 kV Dobrudja — R.P.B. (schema pe etape bloc—linie, auto, triunghi, pătrat).

liste europene racordarea numai a două niveluri de tensiune, respectiv 750 kV și 400 kV, alegîndu-se în acest scop soluția cea mai economică, respectiv utilizarea autotransformatoarelor.

La stabilirea puterii unitare a autotransformatoarelor s-a avut în vedere obținerea puterii maxime a acestora în condițiile posibilităților de fabricație, ale asigurării rezervării lor în funcționare și ale transportului de la furnizor la șantier, condiții care au impus adoptarea construcției monofazate. S-a ținut totodată seama că în țările socialiste europene condițiile de transport limitează sarcina utilă la 250 t (la care se adaugă greutatea vehiculului de transport), ceea ce, potrivit ofertelor obținute de la furnizori, corespunde autotransformatoarelor monofazate cu o putere unitară maximă de 500 MVA, pentru produsele din vest, și cu o putere unitară maximă de 417 MVA, pentru produsele din est, respectiv în montaj trifazat, la autotransformatoare cu o putere de 1500 MVA, respectiv 1250 MVA. S-a avut, de asemenea, în vedere că sarcina uzuală de transport a unei magistrale de 750 kV este de circa 3000 MVA, ceea ce corespunde puterii maxime a două unități de autotransformatoare.

În baza acestor considerente, țările socialiste europene care nu dispun de posibilități proprii de fabricație a acestor tipuri de autotransformatoare, ținînd seama de condițiile tehnico-economice și de termenele de livrare deosebit de favorabile, au încheiat contracte de procurare din U.R.S.S. a unor autotransformatoare cu puterea de 417 MVA pe fază. Singura țară socialistă care a decis să construiască cu forțe proprii astfel de unități a fost R. P. Ungară prin firma GANZ care a adoptat o putere unitară 367 MVA/fază, respectiv în montaj trifazat 1100 MVA. Adoptarea acestei hotărîri a fost determinată atît de faptul că, la data respectivă, beneficiarul nu a fost în măsură să suporte singur costul reproiectării în U.R.S.S. a tipului de autotransformator necesar, corespunzător tensiunii de 400 kV nestandardizate la sovietici, cît și de faptul că la puterea dorită autotransformatorul nu se putea încadra în gabaritele de transport admisibile pe calea ferată ungară. Reproiectarea în U.R.S.S. a devenit însă acceptabilă prin unificarea tipului de autotransformator comandat de R.P.P., R.S.R. și R.P.B., costul ei repartizîndu-se pe 21 unități de autotransformatoare [4].

Comparația unor elemente principale de dimensionare a acestor autotransformatoare este dată în tabelul 1.

Datorită lungimilor relativ mari ale liniilor de alimentare din U.R.S.S. a stațiilor de 750 kV din țările socialiste europene, a fost necesar să se prevadă compensarea energiilor capacitive apărute, utilizînd, de regulă, bobine racordate la tensiunea de 750 kV, executate de Fabrica de Transformatoare din Moscova, cu miez magnetic în construcție monofazată, cu puterea de 110 Mvar. Aceste bobine, montate în cîte două seturi trifazate și cu o bobină de rezervă, sînt racordate prin conectoare-deconectoare specifice industriei energetice sovietice, direct pe liniile de alimentare în stațiile Albertirșa, Jeșuv și Isaccea. Datorită faptului că în cursul exploatării, modelul constructiv al acestor bobine nu a dat rezultate optime în exploatare, beneficiarii din R.P.U. și R.S.R. au dispus procurarea a unei a doua bobine de compensare de rezervă.

Prin excepție în stația, Dobrudja s-au folosit în această etapă instalații combinate de compensare capacitivă și inductivă fabricate de ASEA Suedia, cuprinzînd patru grupe de condensatoare a 50 Mvar și o bobină cu comandă automată prin tiristoare de 100 Mvar, racordate pe înfășurarea terțiară a fiecărui autotransformator de 1250 MVA. Pentru o etapă ulterioară de dezvoltare a stației cu o nouă linie de 750 kV, s-a prevăzut însă eventualitatea montării pe această linie a două seturi de bobine de compensare de construcție sovietică [5].

Stabilirea celorlalte echipamente electrice principale de 750 kV a condus în R.S.R. la luarea în discuție atît a tipurilor în construcție clasică cu izolație exterioară în aer, cît și a tipurilor capsulate cu izolație în SF_6. Pentru această tensiune s-au obținut oferte tehnico-economice concrete de la patru furnizori din vest, și anume Alsthom Delle, BBC, Siemens și ASEA. Deși caracteristicile tehnice și de spațiu ocupat erau deosebit de favorabile, totuși costurile solicitate foarte ridicate, care nu au confirmat opiniile din literatura de specialitate de a scădea relativ și progresiv cu creșterea tensiunii față de echipamentele clasice, precum și lipsa de exprienșă de exploatare a acestora, au condus la renunțarea la acest tip de echipamente.

Dintre numeroasele oferte tehnico-economice obținute pentru echipamentele de 750 kV de tip clasic, ținînd seama de costurile relativ mici solicitate, de facilitățile create pentru plată, de termenele de livrare asigurate și de experiența de peste 15 ani de exploatare, s-a preferat procurarea acestor echipamente din U.R.S.S. La aceeași concluzie au ajuns și beneficiarii stațiilor de 750 kV din R.P.U., R.P.P. și R.P.B. cu excepția izolatoarelor suport de tip monocoloană pentru stația Albertirșa care au fost procurate din R.F.G. și a întrerupătoarelor de tip cu hexafluorură de sulf în camerele de rupere și acționate cu aer comprimat pentru stația Dobrudja care au fost procurate de la BBC Elveția, încît sub aceste aspecte stațiile de conexiuni nu se deosebesc apreciabil între ele.

Tabelul 1

Caracteristici tehnice ale autotransformatoarelor 750/400 kV

Caracteristica	Pentru R.P.U.	Pentru R.P.P., R.P.B., R.S.R.
Executant	Fabrica Ganz – R.P.U.	Fabrica TRAFO, ZAPOROJIE, U.R.S.S.
Tip	IHEM-367000/750/400	AODȚTN-417000/750/400
Raportul nominal de transformare, kV	$\frac{750}{\sqrt{3}} / \frac{410}{\sqrt{3}} / 15{,}5$	$\frac{750}{\sqrt{3}} / \frac{410}{\sqrt{3}} / 15{,}75$
Putere nominală pe fază și pe înfășurări, MVA	367/367/80	417/417/80
Sistem de răcire	OFAF	OFAF
Domeniul de reglaj sub sarcină al tensiunii secundare	+5%; −7%	+ 6,3%; −5,0 %
Tipul reglajului de tensiune pe neutru	reglaj cu 3 bustere monofazate în cuve separate	reglaj inclus în cuva fiecărei faze
Număr de cuve separate pe unitatea trifazică, buc.	6	3
Număr de faze de rezervă: – autotransformator, buc. – buster reglaj buc.	 2 1	 1 –
Tipul cuvei	autoportantă	autoportantă
Greutate totală pe fază, t	314,5+75,5 = 390	307
Greutate ulei pe fază, t	75 + 21 = 96	70
Greutate transport cu ulei t	270	254
Greutate specifică, t/MVA	1,07	0,73

De remarcat că echipamentele de 750 kV livrate de URSS, ținînd seama de bogata experiență de exploatare acumulată în acest domeniu, au fost continuu ameliorate, ceea ce constituie o garanție suplimentară pentru buna lor funcționare.

Astfel pînă în prezent s-au folosit în stațiile de 750 kV din URSS trei tipuri de separatoare, și anume:

– tipul RONZ –1(2) – 750/2000 cu 1 cuțit principal cu deschidere în plan vertical, utilizat prima oară în stația Moscova;

– tipul RLNDZ –1(2) 750/2000 cu două cuțite principale, cu deschiderea semicuțitelor în plan orizontal, utilizat prima oară în stația Dneprovsk;

– tipul RNVZ –1(2)–750P/4000 cu două cuțite principale, cu deschiderea semicuțitelor în plan vertical, utilizat în prezent în toate stațiile construite în ultimii ani din URSS.

Primul tip de separator conducea la înălțarea cadrelor de întindere a conductoarelor electrice în stație, al doilea tip de separator conducea la mărirea pasului celulei și numai cel de-al treilea tip de separator a realizat un compromis acceptabil între dispozițiile sus-menționate.

Considerații similare cu privire la ameliorarea în timp a caracteristicilor constructive ale întrerupătoarelor de 750 kV de fabricație sovietică reies din tabelul 2.

Aceste performanțe s-au putut obține prin prevederea, la partea superioară a coloanelor izolatoare și sub tensiune, a dispozitivelor de acționare a contactelor întrerupătoarelor, dispunînd prin interiorul coloanelor izolante ale aparatului țevi izolante cu o lungime de circa 7 m, aflate sub întreaga presiune a aerului comprimat de 4 MPa. Coloanele izolante ale întrerupătoarelor au fost armate și precomprimate, devenind mai rezistente la eforturile de întindere a conductoarelor electrice. S-au redus, de asemenea, gabaritele aparatului și greutatea respectivă, iar noile aparate preasamblate și încercate în fabrică au permis reducerea duratei de montaj de peste două ori față de primele tipuri de aparate furnizate.

Tabelul 2

Evoluția caracteristicilor tehnice ale întrerupătoarelor de 750 kV de construcție sovietică

Caracteristica \ Tip (an)	VVB-750-40/3200 (1968)	VNV-750A-40/3150-U1 (1978)
Timpul propriu de deconectare, s	0,042	0,024
Timpul propriu de conectare, s	0,106	0,085
Nesimultaneitatea deschiderii contactelor, s	0,004	0,002
Nesimultaneitatea închiderii contactelor, s	0,006	0,005
Presiunea nominală de lucru a aerului comprimat, MPa	2,6	4,0

Ameliorări sensibile se pot evidenția în timp și la celelalte tipuri de echipamente electrice, la transformatoarele de curent de tip TFRM 750 A — U1 față de tipul vechi livrat TRN 750, la divizoarele capacitive de tensiune NDE-750-72-U1 și la descărcătoarele cu rezistență variabilă tip RVMK-750-M-U1, în prezent în construcție monocoloană, față de tipurile vechi cu ancore sau cu modulele dispuse în spirală.

În toate stațiile de 750 kV construite sau în curs de construcție în țările est-europene, conductoarele electrice utilizate, de tip PA-500, sînt de construcție sovietică, realizate sub formă tubulară din aluminiu aliat, montate cîte trei pe fază. Conductorul are o formă tubulară executată din toroane longitudinale dispuse în spirală, îmbinate între ele prin „nut și feder".

În nici una din aceste stații nu s-au folosit conductoarele electrice din țeavă cu pereți rigizi datorită numărului mare al elementelor de susținere a acestor conductoare, dificultăților de montaj pentru a compensa dilatarea acestora ca urmare a variațiilor de temperatură și preluării eforturilor la scurtcircuit în bornele aparatelor.

În prezent, în U.R.S.S. se experimentează și conductoare electrice similare de tipul PA-640 cu secțiune mărită, în dorința de a asigura aceleași transporturi de putere în stații cu numai două conductoare pe fază, ceea ce, pe lîngă modificarea pierderilor corona, ar reduce numărul clemelor și al distanțierelor respective dintre conductoare, ar micșora numărul punctelor cu defecte potențiale în stație și ar reduce greutatea căilor de curent suspendate între bornele aparatelor. Deși în prezent la tensiunea de 750 kV pierderile prin efect corona sînt de regulă mai mari decît pierderile prin încălzire, în stațiile de 750 kV ale țărilor europene socialiste se vor folosi astfel de conductoare numai cînd se va obține o confirmare a rezultatelor utilizării lor în U.R.S.S.

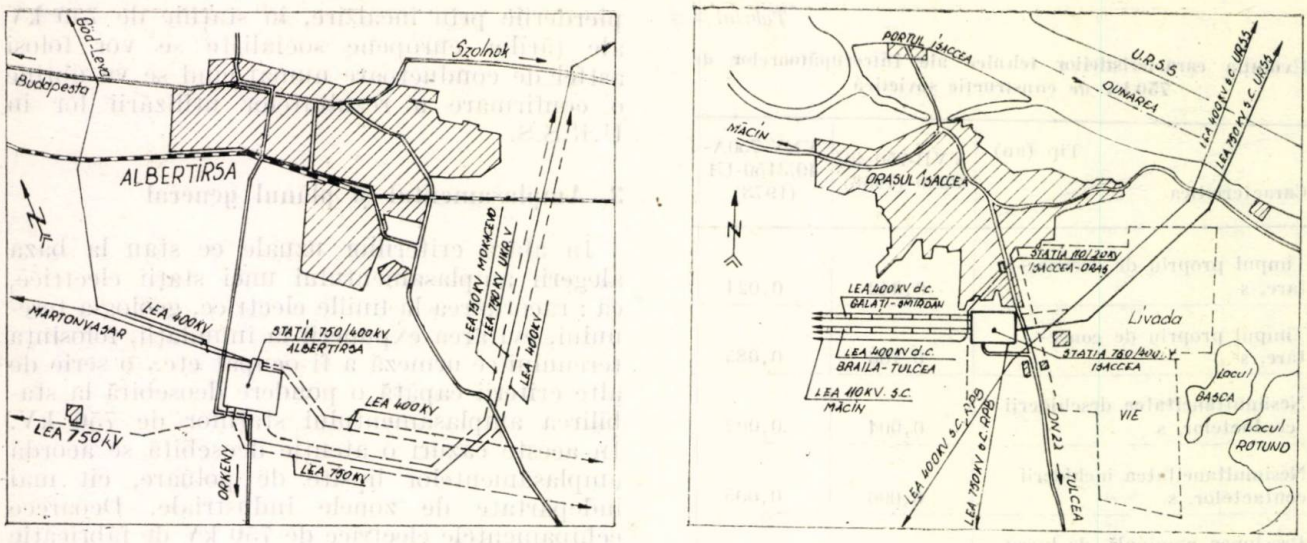
3. Amplasamentul și planul general

În afara criteriilor uzuale ce stau la baza alegerii amplasamentului unei stații electrice, ca : racordarea la liniile electrice, geologia terenului, evitarea expunerii la inundații, folosința terenului ce urmează a fi ocupat etc., o serie de alte criterii capătă o pondere deosebită la stabilirea amplasamentului stațiilor de 750 kV. În aceste cazuri o atenție deosebită se acordă amplasamentelor lipsite de poluare, cît mai îndepărtate de zonele industriale. Deoarece echipamentele electrice de 750 kV de fabricație sovietică se execută numai corespunzător unei singure lungimi a liniei de fugă a izolatoarelor egală cu 1,5 cm/kV, potrivit normativelor sovietice nu este admisă amplasarea stațiilor electrice de 750 kV decît în zone cu gradul I de poluare (cel mai redus grad de poluare).

Cu toate acestea, pe baza unor studii de microzonare, stația de 750/500/330 kV Konakovo din U.R.S.S. a fost amplasată la o distanță de numai circa 3 km de o mare centrală electrică funcționînd cu cărbune, fără însă să se constate în timp degradarea izolației electrice a echipamentelor exterioare.

O atenție deosebită se acordă eventualelor perturbații ale recepției programelor de radio și televiziune, ca și ale circuitelor de telecomunicații din vecinătatea amplasamentului stației de 750 kV, datorită intensității efectului corona. Dacă la acest efect se adaugă și acela al zgomotelor produse în funcționare (vibrații la unitățile de transformatoare și la bobinele de compensare, declanșări de întrerupătoare etc.), se constată că în toate cazurile a fost necesar să se păstreze o zonă de protecție cu o lățime de circa 300 m pînă la cele mai apropiate locuințe (fig. 4).

Se urmărește în același timp ca distanța dintre stația de 750 kV și aglomerările urbane, care asigură personalului de exploatare serviciile necesare de aprovizionare, cultură, educație, sport, asistență sanitară etc., să nu fie prea mare. Totodată, ținînd seama de frecvența transporturilor la stațiile de 750 kV, în special ale pieselor grele și agabaritice, amplasamentele acestor obiective să fie cît mai apropiate de un drum modernizat, scurtînd la maximum porțiunea de drum de acces pentru deservirea exclusivă a stației. Realizarea în industrie a unor vehicule rutiere cu sarcină mare de transport (500—600 t), fără a depăși presiunea specifică admisă pe drumurile uzuale, permite să se renunțe la racordurile de cale ferată pe amplasamentele stațiilor de 750 kV. Calea



a *b*

Fig. 4. Planul de situație a unor stații de 750 kV: a — amplasamentul stației 750/400 kV Albertirșa — R.P.U.; b — amplasamentul stației 750/400 kV Isaccea — R.S.R.

ferată nu trebuie să fie totuși prea îndepărtată, cunoscînd că materialele și echipamentele ce intră în operă reprezintă, de regulă, cantități apreciabile, pentru care transportul cel mai economic este asigurat pe calea ferată (eventual pe o cale navigabilă).

În tabelul 3 se dau distanțele cele mai apropiate între amplasamentele unor stații de 750 kV, drumurile modernizate, căile ferate și așezările urbane din zonă.

Tabelul 3

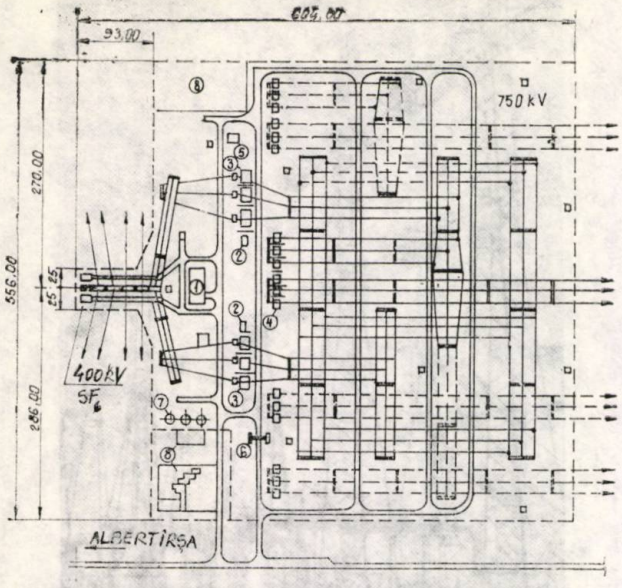
Distanțe minime realizate la stațiile de 750 kV la căile de acces și orașele din zonă

Stația de 750 kV	Pînă la DN	Pînă la c.f.	Pînă la orașul cel mai apropiat
Konakovo — U.R.S.S.	60 m	0 km	4,0 km
Albertirșa — R.P.U.	50 m	2,5 km	—2,5 km la Albertirșa —18 km la Cegled —40 km la Budapesta
Jeșuv — R.P.P.	1800 m	2,0 km	—2,8 km la Widelka —20 km la Rzeszow
Isaccea — R.S.R.	450 m	33,0 km (3km pînă în port)	—0,8km la Isaccea —33 km la Tulcea
Dobrudja — R.P.B.	300 m	2,2 km	—2,5 km la Suvorovo —31 km la Varna

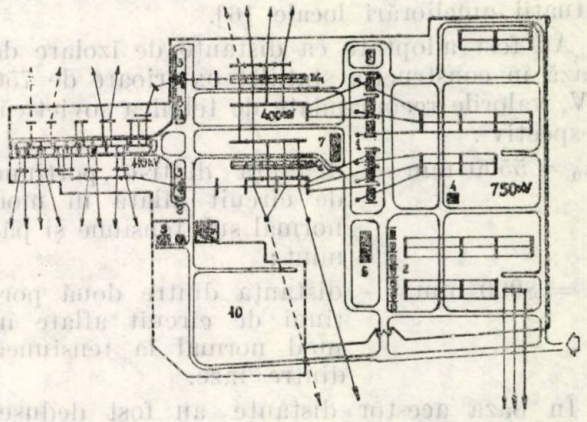
Întrucît în nici una din stațiile de 750 kV de construcție recentă nu se mai prevede înlocuirea unei faze de autotransformator sau bobină de compensare prin comutări de aparate între unitatea de rezervă și oricare dintre unitățile în funcționare, această operație se face prin tractarea unității de rezervă în locul celei avariate, prevăzîndu-se în acest scop realizarea unei căi de rulare pe o porțiune a drumului din incinta stației de 750 kV. În acest scop se urmărește alinierea, pe cît posibil, în lungul unui drum, corespunzător amenajat, prevăzut cu cale de rulare, a tuturor autotransformatoarelor și bobinelor de compensare, pentru ca deplasarea acestora în incinta stației pe distanța de 200—300 m să se facă cu viteză redusă, respectînd restricțiile necesare, fără utilizarea unui vehicul de transport adecvat.

Prin excepție stația Albertirșa din R.P.U. nu dispune de acestă cale de rulare în incintă și este cu atît mai surprinzător cu cît la unul din capetele drumului de acces în stație este situat un portal de decuvare a unităților de transformare pînă la care acestea se trag cu tractoare alunecînd pe panouri de cale ferată unse în prealabil.

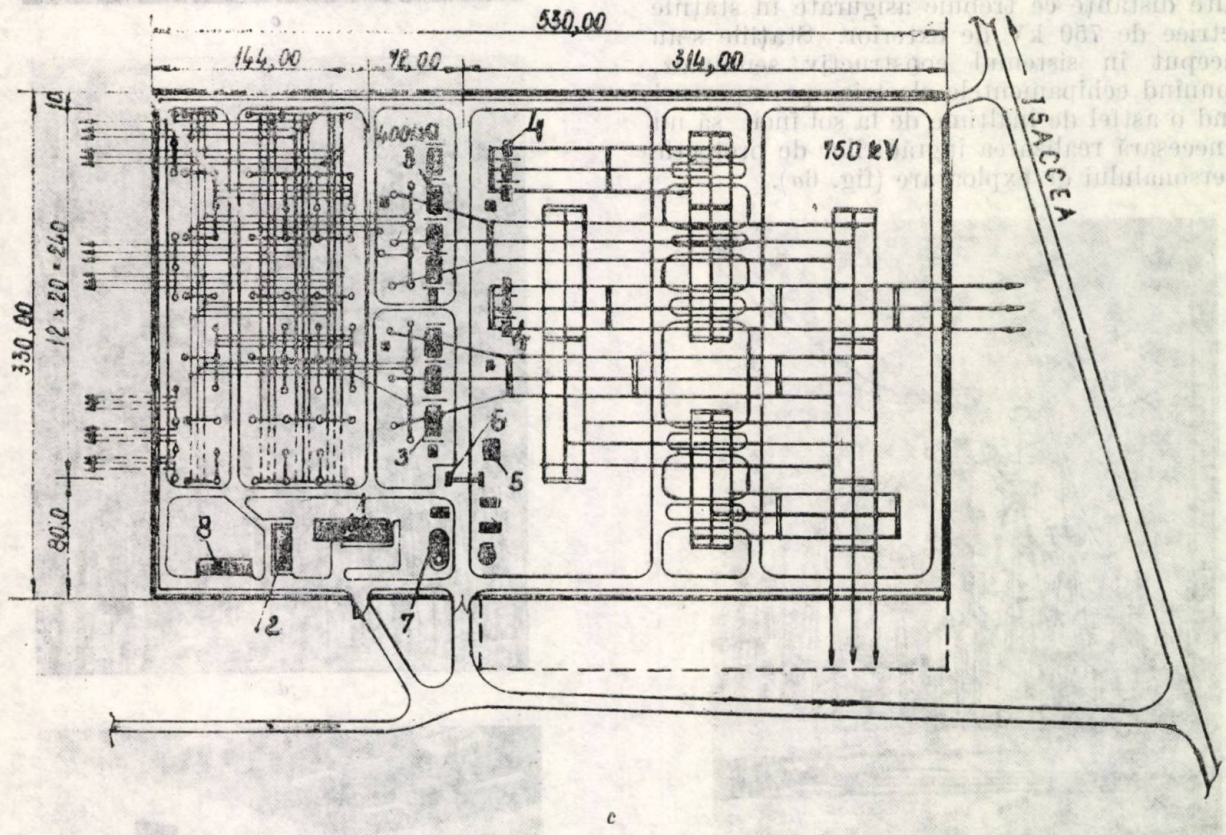
În ceea ce privește poziția relativă a stațiilor de conexiuni se observă că unele stații de 750 kV ocupă un teren separat de incinta conexiunilor cu tensiunea imediat inferioară, cum este cazul stației Konakovo, la care stațiile de 500 kV și 330 kV sînt situate la circa 3 km în incinta centralei termoelectrice respective. Alte stații au conexiunile de 750 kV și 400 kV dispuse față în față, astfel ca racordurile electrice la unitățile de transformare să fie cît mai scurte (stația Albertirșa, Isaccea, Dobrudja etc.) (fig. 5*a*, 5*b*, 5*c* și 5*d*).



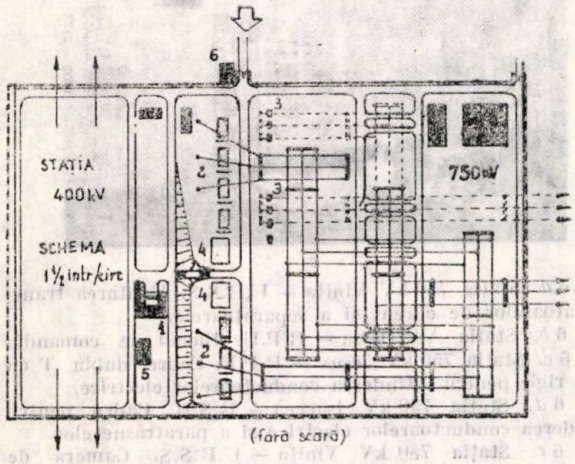
a



b



c



d

Fig. 5*a*. Staţia 750/400 kV Albertîrşa — R.P.U.: 1 — corp comandă; 2 — corp servicii proprii; 3 — autotrafo 750/400 kV; 4 — bobină compensare; 5 — clădire aer comprimat; 6 — portal de decuvare; 7 — gospodărie ulei; 8 — depozite, spaţii exploatare.

Fig. 5*b*. Staţia 750/400/110 kV Jeşuv — R.P.P.: 1 — autotrafo 750/400 kV — 7×417 MVA; 2 — bobina de compensare 750 kV — 7×110 Mvar; 3 — trafo 400/110 kV — 2×250 MVA; 4 — instalaţie de producere aer comprimat 230 kg/cm²; 5 — bloc de comandă ; 6 — protecţie 750 kV; 7 — conexiuni 15 kV; 8 — comandă protecţie şi conexiuni 30 kV; 9 — staţie 15 kV; 10 — incinta tehnico-administrativă.

Fig. 5*c*. Staţia 750/400 kV Isaccea — R.S.R.: 1 — corp comandă; 2 — corp servicii proprii; 3 — autotrafo 750/400 kV; 4 — bobină compensare; 5 — clădire aer comprimat; 6 — portal de decuvare; 7 — gospodărie ulei; 8 — depozite, spaţii exploatare.

Fig. 5 *d*. Staţia 750/400 kV Dobrudja — R.P.B.: 1 — corp comandă şi de servicii proprii; 2 — autotransformator 750/400 kV; 3 — loc pentru bobine de compensare; 4 — instalaţie capacitivă de compensare; 5 — cabină de poartă; 6 — depozit de echipamente; 7 — construcţii pentru exploatare.

4. Soluții constructive

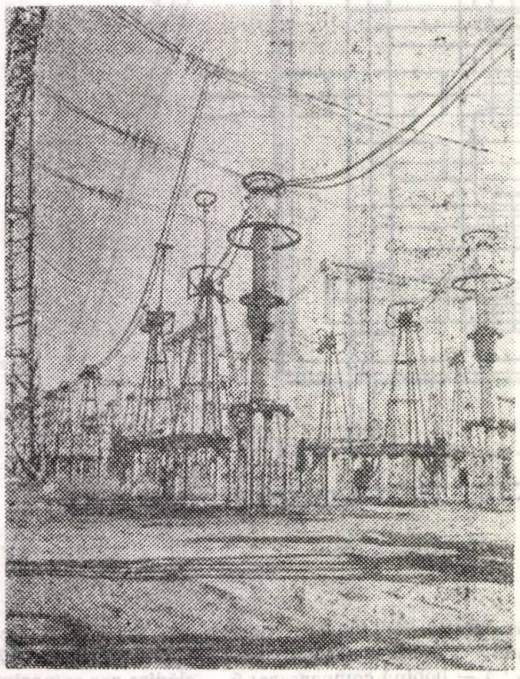
Dispoziția constructivă a stațiilor de 750 kV din țările socialiste răsăritene s-a bazat pe experiența dobîndită la realizarea acestor obiective în U.R.S.S., realizîndu-se numai în unele situații ameliorări locale [6].

Au fost adoptate ca distanțe de izolare de bază în construcția stațiilor exterioare de 750 kV, valorile recomandate de tehnica sovietică, respectiv :

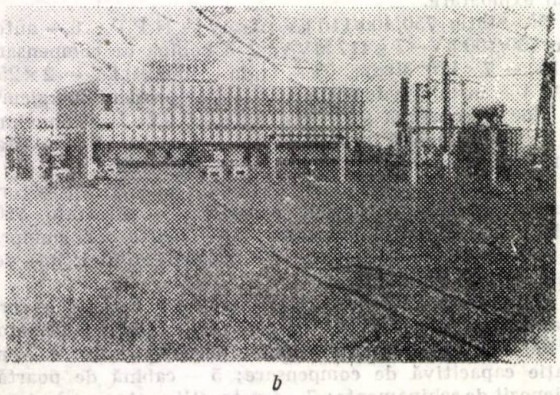
$A_0 = 5500$ mm — distanța dintr-o porțiune de circuit aflată în mod normal sub tensiune și pămînt ;

$A = 8000$ mm — distanța dintre două porțiuni de circuit aflate în mod normal la tensiunea dintre faze.

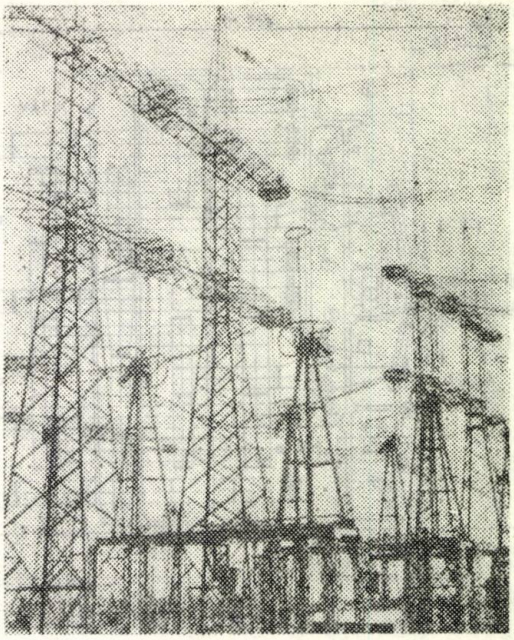
În baza acestor distanțe au fost deduse, conform normativelor de proiectare, toate celelalte distanțe ce trebuie asigurate în stațiile electrice de 750 kV de exterior. Stațiile s-au conceput în sistemul constructiv semiînalt, dispunînd echipamentele electrice pe suporturi avînd o astfel de înălțime de la sol încît să nu fie necesară realizarea îngrădirilor de protecție a personalului de exploatare (fig. 6*a*).



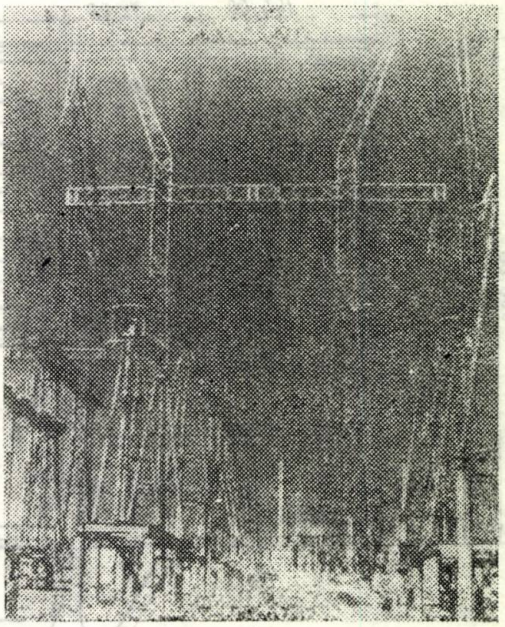
a



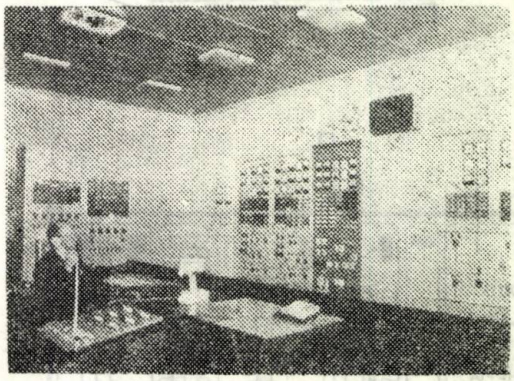
b



c



d



e

Fig. 6 *a*. Stația 750 kV Vinița — U.R.S.S. Montarea transformatoarelor de curent și a separatoarelor.
Fig. 6 *b*. Stația Albertirșa — R.P.U. Blocul de comandă.
Fig. 6 *c*. Stația 750 kV Jeșuv — R.P.P. Cadre dublu T cu două rigle pentru întinderea conductoarelor electrice.
Fig. 6 *d*. Stația 750 kV Isaccea — R.S.R. Cadru pentru întinderea conductoarelor electrice și a paratrăsnetelor.
Fig. 6 *e*. Stația 750 kV Vinița — U.R.S.S. Camera de comandă.

Sistematizarea pe verticală a acestor stații folosește, de regulă, patru planuri de tensiune, și anume :

— planul bornelor aparatelor de înaltă tensiune la 8÷10 m de la sol ;

— planul barelor colectoare la 23,5 m de la sol ;

— planul conductoarelor de derivație în celule la 29,0 m de la sol ;

— planul conductoarelor de supratraversare în celulă la 33,5 m de la sol.

Pe baza unei analize detaliate, în condițiile climatice din țara noastră, pentru stabilirea cît mai exactă a poziției conductoarelor electrice la trecerea lor pe sub rigla cadrelor și pentru a respecta și în această situație distanțele de izolare adoptate, s-a majorat la stația 750 kV Isaccea înălțimea planurilor de tensiune în ultimele două cazuri cu 0,5 m și 1,00 m, obținînd astfel următoarele înălțimi de la sol ale planurilor de tensiune 8—10 m/23,5 m/29,5 m/34,5 m (fig. 6).

În noile stații de 750 kV construite în U.R.S.S. se încearcă reducerea pasului celulei și a momentelor în rigle, atît prin reducerea greutății fasciculelor de conductoare trecînd de la trei conductoare pe fază la două conductoare pe fază, cît și prin micșorarea distanței dintre axele de prindere a acestor fascicule pe rigla cadrelor de la 16 m în prezent la 12,5 m. La trecerea fasciculelor de conductoare ale fazei mediane pe sub rigla cadrelor se rigidizează conductoarele printr-un nou lanț dublu de izolatoare de suspensie, iar la subtraversarea riglei cu fazele extreme ale circuitului se îndepărtează acestea cu încă 3 m de picioarele cadrului. În felul acesta consolele de prelungire a riglei vor fi dimensionate doar la forțe verticale.

Aceste măsuri de ameliorare a dispoziției constructive a stațiilor de 750 kV sînt în curs de experimentare în U.R.S.S. și ele nu au fost aplicate în nici una din stațiile țărilor socialiste din Europa răsăriteană.

Tabelul 4

Elemente constructive din stațiile 750 kV din țările socialiste

Caracteristici / Stații de 750 kV (anul proiectării)	Albertirșa (1974), Jeșuv (1983), Dobrudja (1986) U.R.S.S. (1970)	Isaccea (1985)	U.R.S.S. — noi (Zaporojie) (1982)
Geometria cadrului din stație	dublu T *	dublu T	dublu T
Înălțimea cadrului la riglă/greutate:			
— cadrele barelor colectoare, m/t	23,5/36,0	23,5/34,0	24,0/ ...
— cadrele din celule, m/t	29,0/46,0	29,5/46,0	28,7/ ...
— cadrele de supratraversare, m/t	33,5/56,0	34,5/55,0	33,5/ ...
Înălțimea maximă a cadrului (inclusiv tija paratrăznet), m	46,0	52,0	54,5
Deschiderea maximă între cadrele stației, m	2 × 46 = 92	2 × 46 = 92	2 × 43,5 = 87
Pasul celulei, m	46,0	46,0	43,5
Tipul conductoarelor pe fază	3 × PA — 500	3 × PA — 500	2 × PA — 640
Distanța între punctele de întindere a conductoarelor a două faze alăturate, m	16,0	16,0	12,5

* În stația Jeșuv — RPP se utilizează și cadre dublu T cu două rigle suprapuse.

Tot astfel, în stația 750 kV Jeșuv planul superior al conductoarelor electrice a fost înălțat la circa 40 m pentru a reduce efectul cumulativ al cîmpurilor electrice în stație la nivelul solului [7] (fig. 6*c*).

Pentru a reduce solicitările mecanice în riglele cadrelor de întindere a conductoarelor electrice în stațiile de 750 kV s-au utilizat, în toate cazurile, cadre cu o dispoziție în dublu T. Elementele caracteristice ale acestor cadre ca și alte elemente constructive din stațiile de 750 kV din țările socialiste sînt redate în tabelul 4.

5. Instalații de măsură, comandă, control, protecție și automatizare

Luînd în considerare temerile exprimate în literatura de specialitate din U.R.S.S. cu privire la eventualele influențe dăunătoare ale cîmpurilor electrice intense din stațiile de 750 kV asupra personalului de exploatare, în toate țările est-europene prevăzute cu astfel de stații s-a adoptat o organizare centralizată a circuitelor secundare respective, folosind următoarele puncte de conexiuni :

a — cutiile de borne ale aparatelor de 750 kV ;

b — cutii de cleme pe celulă sau porțiuni de celulă;

c — încăpere centrală conținînd panourile de protecție și automatizări;

d — încăpere centrală conținînd panourile de comandă, semnalizare și sincronizare.

În stațiile de 750/400 kV nou construite s-a prevăzut construcția unui bloc de comandă dotat cu încăperile necesare unei bune exploatări a instalațiilor, conținînd și încăperile de la pct. c și d de mai sus (stațiile Albertirșa, Isaccea și Dobrudja) (fig. 6*b*). În stațiile de 750 kV executate în extinderea unor instalații realizate anterior, s-a introdus în camera de comandă propriu-zisă, pe lîngă panourile existente și acelea ale stației de 750 kV, pentru panourile de protecție și automatizări realizîndu-se o clădire separată (stația Jeșuv) [8].

O caracteristică a circuitelor secundare din stațiile de 750 kV o constituie numărul mare al mărimilor necesare a fi aduse în camera de comandă.

Pentru stația 750/400 kV Isaccea acestea însumează:

— circa 150 măsuri și comenzi;
— circa 600 semnalizări de poziție;
— circa 700 semnalizări preventive;
— circa 500 semnalizări de avarie.

Pentru prima grupă, se folosesc, de regulă, în toate stațiile menționate soluțiile clasice, respectiv măsuri prin traductoare, comenzi în curenți tari, panouri cu scheme sinoptice cuprinzînd aparate de măsură de profil, chei de comandă pentru întrerupătoare și indicatoare de poziție pentru separatoare (fig. 6*e*).

Pentru ușurarea serviciului personalului de exploatare se prevăd: protocolarea automată periodică, la cerere și la orice apariție a unui element perturbator în instalație, semnalizări de depășire a valorilor de consemn și uneori chiar afișarea acestor informații pe un display.

Pentru grupa de semnalizări, datorită volumului mare de informații, acestea sînt de regulă în prealabil triate, ierarhizate după importanță și afișate, ceea ce se prevede a se face cu ajutorul calculatoarelor electronice.

Datorită importanței deosebite pe care o pot avea situațiile perturbatoare în funcționarea stațiilor de 750 kV, se prevăd sisteme de protecții redundante cu sensibilitate mărită, cu timpi foarte scurți de lucru, cu simultaneitate cît mai bună între acționările dintre cele două capete ale liniilor și cu mare fiabilitate, în care scop se utilizează relee ultramoderne, de tip static și teletransmisii între capetele liniilor. Echipamentele respective sînt procurate atît din import vest, cît și din import est.

În toate stațiile de 750 kV se prevede, de asemenea, montarea unor sisteme de automatizare de avarii care, culegînd informațiile necesare, trimit ordine operative în stații situate adesea în zone îndepărtate și în timpi atît de scurți (pentru eliminarea stărilor perturbatoare) încît ele nu mai permit intervenția personalului de exploatare. În acest scop instalațiile se dotează cu echipamente de culegere a datelor din exploatare, cu sisteme de teletransmisii și cu calculatoare de proces, în vederea emiterii ordinelor operative ce se vor retransmite în instalațiile din sistemele energetice respective.

Aceste teletransmisii se efectuează pe două căi separate, utilizînd înalta frecvență pe conductoarele active ale liniilor și pe conductoarele de gardă ale acestora, ca și prin circuite închiriate prin poștă. Ordinele operative gradate potrivit importanței perturbației sînt transmise la dispecerii teritoriali, naționali și la dispecerul central al sistemului energetic unificat al CAER.

Un rol deosebit de cel al stațiilor de 750 kV din celelalte țări est-europene îl are stația 750/400 kV Isaccea din R.S.R. care, în această etapă, este singura prin care se tranzitează energia electrică în alte țară, respectiv în R.P.B. Această situație implică o responsabilitate sporită pentru personalul tehnic din stația Isaccea, care este pregătit în vederea luării măsurilor ce se impun pentru a nu afecta fluxul de energie electrică către țara vecină, chiar în cazul unor defecțiuni în propriile instalații [9].

În acest scop, se prevede ca în stația Isaccea să se ia o serie de măsuri, eșalonate funcție de gravitatea avariei, și anume:

— efectuarea descărcării automate de sarcină (pe baza sumei de P și a frecvenței) în SEN, în două trepte;

— insularizări în SEN cu liniile de interconexiune cu alte state;

— separări ale SEN de celelalte sisteme energetice interconectate.

Realizarea legăturilor electrice dintre stațiile de 750 kV și camera de comandă se face cu cabluri multifilare montate în pămînt în canale sau în tunele. Evitarea influențelor electromagnetice asupra cablurilor de circuite secundare se realizează în diverse stații prin adoptarea uneia sau a mai multor din măsurile următoare:

— ecranarea cablurilor;
— armarea cablurilor;
— legarea la pămînt la ambele capete, a unor conductoare electrice din cabluri;
— armarea corespunzătoare a canalelor de cabluri.

6. Servicii proprii

Soluțiile pentru alimentarea serviciilor proprii de curent alternativ și de curent continuu din stațiile de 750 kV sînt prevăzute, în toate

cazurile, cu un înalt grad de fiabilitate pentru a asigura funcționarea normală a instalațiilor. Față de alte stații, consumatorii din stațiile de 750 kV, caracterizați prin puteri necesare mari și prin repartizarea lor pe o suprafață mai întinsă, au impus ca alimentarea lor să se efectueze în curent alternativ prin mai multe posturi de transformare MT/0,4 kV.

Alimentarea de bază a rețelei de MT se face prin transformatoare corespunzător dimensionate (cu puteri unitare cuprinse între 1—4 MVA) racordate, de regulă, la înfășurarea terțiară a autotransformatoarelor principale din stație. Însă, în timp ce atît în U.R.S.S., cît și în stațiile de 750 kV din celelalte țări est-europene aceste transformatoare sînt de construcție obișnuită și se racordează prin întrerupătoare și bobine de reactanță pentru reducerea curenților de scurtcircuit, în stația Isaccea se folosesc transformatoare de servicii proprii de construcție specială, racordate fără întrerupătoare la bornele înfășurării terțiare a autotransformatoarelor de mare putere din stații (transformatoare numite în literatura de specialitate din Franța, „transformatoare biberon", soluție des utilizată în țările din vest datorită siguranței și robusteții ei).

Pentru a evita apariția unor scurtcircuite între fazele înfășurărilor tensiunii de alimentare aceste transformatoare în execuție trifazată au bobinajele înfășurărilor de 15 kV dispuse în interiorul bobinajelor înfășurărilor de 20 kV, evitînd astfel posibilitatea apariției în cuvă a acestui fel de scurtcircuite. Din aceleași motive, realizarea conexiunii dintre înfășurarea terțiară a autotransformatorului din stație și transformatorul principal de alimentare a serviciilor proprii, se execută, de regulă, în bare capsulate izolate în aer.

O a doua particularitate importantă a transformatoarelor de servicii proprii principale o reprezintă posibilitatea efectuării unui larg domeniu de reglare a tensiunii sub sarcină pentru a asigura racordarea consumatorilor din stațiile de 750 kV în limitele admisibile de variație a tensiunii de alimentare.

Astfel în cazul stațiilor de 750 kV Jeșuv, Isaccea și Dobrudja, unde se vor folosi aceleași tipuri de autotransformatoare de 1250 MVA, la variația admisibilă a tensiunii dintre înfășurările de 750 kV și 400 kV rezultă un domeniu de variație a tensiunii terțiare cuprins între +14% și −11%, limite inadmisibile pentru funcționarea consumatorilor locali și care trebuie corectate printr-un reglaj de tensiune corespunzător.

Alimentarea de rezervă a rețelei de servicii proprii de curent alternativ din stațiile de 750 kV este asigurată în toate cazurile printr-unul, două sau chiar trei racorduri din rețeaua de MT locală [1].

Alimentarea de siguranță a consumatorilor de curent alternativ din stație (iluminat, încălziri locale în dulapurile de aparate, consumatori speciali din dispozitivele de acționare ale întrerupătoarelor etc.) este asigurată uneori prin montarea locală a unor grupuri diesel electrice de puteri corespunzătoare și cu pornire automată (de exemplu în stațiile Jeșuv și Isaccea, grupuri care însă în stațiile Albertirșa și Dobrudja nu s-a considerat necesar a se prevedea).

Pentru alimentarea consumatorilor de curent continuu din stațiile de 750 kV se prevede, de regulă, montarea a două baterii de acumulatoare cu capacitate corespunzătoare, funcționînd în tampon cu redresoarele de tensiune.

Pentru consumatorii de curent alternativ de cea mai mare importanță (ex. telecomunicațiile) se folosesc de regulă invertoare în toate stațiile de 750 kV.

În toate stațiile de 750 kV din țările socialiste est-europene care au fost echipate cu întrerupătoarele de fabricație sovietică cu acționare și stingerea arcului electric cu aer comprimat a fost necesar să se monteze instalații de mare complexitate pentru producerea și uscarea aerului comprimat. Ținînd seama de consumurile mari de aer cerute în aceste cazuri, instalațiile de producere a aerului comprimat au fost echipate cu trei sau mai multe compresoare cu răcire cu aer, de fabricație sovietică tip VȘV — 2,3/230, cu presiunea de producere de 23 MPa. Rețeaua de distribuție de aer comprimat avînd presiunea de utilizare 4 MPa s-a realizat cu țevi fără cusătură, îmbinate prin sudură, pozate pe rastele separate în canalele de cabluri din stație.

Prin excepție, deoarece în stația 750 kV Dobrudja au fost utilizate întrerupătoare cu SF_6 cu acționare cu aer comprimat la 6 ata, produs chiar la fiecare întrerupător, nu a mai fost necesar să se realizeaze o stație de producere a aerului comprimat pentru alimentarea acestora.

7. Construcții și instalații auxiliare

O serie de rezolvări adoptate pentru unele elemente comune din stațiile de 750 kV din țările est-europene se expun comparativ și succint în tabelul 5.

În toate stațiile de 750 kV s-au prevăzut de asemenea instalații de iluminat pe timpul

[1] Schema electrică a serviciilor proprii de curent alternativ de la stația Isaccea a fost prezentată anterior detaliat [8]. Amplificînd stația de pompare împotriva incendiilor și prevăzînd construcția a noi laboratoare și dependințe alăturate s-a dispus realizarea între timp și a unui post de transformare suplimentar 2×1 000 kVA 20/0,4 kV alimentat prin două cabluri din stația 110/20 kV Isaccea—oraș.

Tabelul 5

Rezolvări ale unor elemente comune de construcții și instalații în diverse stații de 750 kV

Elementul \ Țara	U.R.S.S.	R.P.U.—Albertirșa	R.P.P.—Jeșuv	R.S.R.—Isaccea	R.P.B.—Dobrudja
Structuri de întinderea conductoarelor electrice	metalice, sudate, vopsite	metalice, bulonate, zincate	metalice, bulonate, zincate	metalice, bulonate, zincate	metalice, bulonate, zincate
Suporturi aparataj	beton armat vibrat	beton armat vibrat	metalici sudați	beton armat centrifugat	beton armat vibrat
Amenajarea platformei stației	practic orizontală	practic orizontală	practic orizontală	panta max. 4,5 % denivelări ~ 10m	panta max. 6% denivelări ~ 30m
Tratarea platformei stației	înierbată natural	înierbată natural	înierbată natural	amenajări horticole	înierbată natural
Blocul de comandă	3 niveluri	3 niveluri + foișor	2 niveluri	3 niveluri	1 și parțial 2 niveluri + foișor
Stingerea incendiilor la transformatoare	instalație statică cu apă pulverizată	jeturi orientate manual cu apă pulverizată	instalație statică cu apă pulverizată	instalație statică cu apă pulverizată	instalație statică cu apă pulverizată
Instalație decuvare trafo	turn	portal	—	portal (nerealizat)	—
Depozit staționar de ulei trafo	rezervoare	rezervoare	—	rezervoare	—

nopții, de pază în lungul împrejurimii incintei și de orientare în incinta propriu-zisă, realizate cu reflectoare orientate echipate cu lămpi cu flux luminos mărit. Amplasarea acestor reflectoare s-a făcut pe platforme special destinate acestui scop, situate la o înălțime mai mare decît a conductoarelor electrice în stație. Ele au fost montate pe stîlpi separați împreună cu paratrăsnetele cu tijă (ex: stațiile din U.R.S.S., Albertirșa, Jesuv, și Dobrudja) cu excepția stației Isaccea unde atît paratrăsnetele cu tijă, cît și aceste platforme au fost montate chiar pe cadrele de întindere a conductoarelor electrice, întrucît accesul personalului pe scări dispuse prin interiorul stîlpilor metalici la aceste platforme se face în condiții bune de ecranare împotriva cîmpurilor electrice din stație (fig. 6*d*).

În toate stațiile de 750 kV personalul de exploatare a fost dotat cu costume complete de protecție ecranate, legate la pămînt, pentru utilizare pe timpul intervențiilor, dar în unele stații s-au executat împotriva efectului cîmpurilor electrice intense și ecranări suplimentare în lungul drumurilor de acces pietonal. Astfel în stațiile de 750 kV din U.R.S.S., dar și la stația Albertirșa, s-au pozat deasupra și în lungul căilor de acces a personalului de exploatare în instalație un număr de electrozi metalici sub forme de sîrme distanțate între ele cu 30÷40 cm racordate la centura de legare la pămînt. În stația Dobrudja deasupra tuturor acestor căi de circulație a personalului s-au montat chiar plase de sîrmă.

În alte stații de 750 kV s-a acceptat ca numai după punerea în funcțiune a instalațiilor să se facă măsurători de cîmpuri electrice și după acestea să se intervină numai în locurile necesare prin realizarea unor ecrane metalice. În acest mod s-a procedat în stațiile Jeșuv și Issaccea, prevăzîndu-se plase de protecție numai în dreptul locurilor de staționare a personalului pentru acționarea aparatelor de comutare [10].

Transportul echipamentelor grele și agabaritice, respectiv al autotransformatoarelor și al bobinelor de compensare, a pus probleme dificile la toate stațiile de 750 kV analizate, și uneori a determinat modificarea profilului instalațiilor, cum a fost cazul stației Albertirșa ale cărei autotransformatoare nu au putut fi comandate în U.R.S.S. la puterea nominală dorită, nefiind transportabile în gabaritul căilor ferate ungare.

De regulă, pînă la locul de montare aceste piese grele și agabaritice s-au transportat pe calea ferată și rutier, stațiile de 750 kV nedispunînd, de obicei, de racorduri de cale ferată. Transporturile de piese grele se pot executa fie cu uleiul izolant în cuva unității de transformare, fie înlocuind uleiul respectiv cu azot sub presiune, în care caz sarcina de transport scade pînă la circa 65% față de varianta cu ulei. Însă, în timp ce în varianta inițială se poate păstra neafectată izolația electrică a înfășurărilor, în varianta cu azot în cuvă, prin neetanșeități inerente, înfășurările se umezesc și trebuie uscate pe șantier, necesitînd efectuarea unor operații complicate și de lungă durată. (În această situație s-au aflat autotransformatoarele transportate la stația Jeșuv.)

În unele cazuri transporturile echipamentelor grele și agabaritice s-au făcut în condiții și mai complexe, așa cum este cazul la stațiile Isaccea și Dobrudja, unde, în afara transportului pe calea ferată și rutier, a fost necesar să se efectueze și un transport pe apă. Astfel, pentru stația Isaccea echipamentele grele au

fost transportate și cu gabara pe Dunăre între Galați și Isaccea (circa 70 km), lucrări pentru care s-au executat amenajări speciale atît la treilerul de transport și la gabara- fluvială, cît și pe parcursul traseului la drumuri și în porturi, pentru rampele de încărcare și descărcare a treilerului cu sarcina de transport.

Pentru stația Dobrudja echipamentele grele au fost transportate cu vase speciale din U.R.S.S la Varna unde, cu ajutorul unei macarale plutitoare corespunzătoare, acestea au fost pozate pe vehicule cu multe axe și transportate rutier la amplasament.

Considerații finale

Realizarea stațiilor de 750 kV în țările socialiste est-europene constituie un pas important pe calea închegării unui sistem energetic unificat în zonă și confirmă totodată dorința unanimă a țărilor participante în această problemă.

Eficiența acestui sistem energetic unificat este cu atît mai ridicată cu cît el dispune de capacitatea mărită de transport a magistralelor interconectate, atît datorită secțiunii conductoarelor electrice, cît și nivelului de tensiune utilizat.

În ceea ce privește schema electrică, tipurile de echipament și dispoziția constructivă, stațiile de 750 kV, bazîndu-se pe o aceeași experiență și pe aceeași bază materială, diferă între ele într-o măsură relativ mică; deosebirile între aceste lucrări se evidențiază în problemele de plan general, de rezolvare a instalațiilor de comandă, control, protecție, automatizare și la instalațiile anexe.

Chiar dacă această diversitate de soluții înseamnă noi pași înainte în acest domeniu, important este că de la lucrare la lucrare s-au constatat progrese atît în concepția de proiectare, în îndeminarea montorilor, în efectuarea probelor pentru punerea sub tensiune a stației, în exploatarea propriu-zisă a instalațiilor ca și în scurtarea pe ansamblu a întregului flux de lucrări, realizîndu-se spre exemplu stația Isaccea într-un interval de timp de circa 60% din acel utilizat la stația Albertirșa.

Realizarea acestor lucrări de stații și linii de 750 kV la cea mai înaltă tensiune alternativă din lume utilizată industrial, a confirmat că este posibilă înfăptuirea lor cu cadrele tehnice de care se dispune, menționînd totuși că acest lucru a fost posibil și datorită ajutorului specialiștilor din U.R.S.S.

Bibliografie

[1] Erșevici, V. ș.a. *Perspectivele dezvoltării rețelei de 750 kV în SEI sud.* În: Dalnie Elektroperedaci, vol. 1, 1974, p. 25—28.

[2] * * * *Proizvodsvennoe energheticeskoe obedinenie. Vinnițaenergo.* Moskva.

[3] * * * Eröterv kozlémenyek, nr. 15, Budapesta.

[4] Rașcu, P. E. Raport de activitate la deplasarea în R.P.U. în 13—23 mai 1986, ISPE.

[5] * * * *Podstantia 750/400 kV na teritorii NRB.* Sofia, apreli, 1987.

[6] * * * *Vinnițkaia podstantia 750 kV.* Moskva.

[7] *Uklad przesylowy.* Energoproiect Krakow.

[8] Bena, R. *Raport de activitate la deplasarea în R.P.P. în 5—12.11.1984.* ISPE.

[9] Rașcu, P. E. *Transportul energiei electrice în R.S.R. la cea mai înaltă tensiune alternativă utilizată industrial în lume. Stația de transformare 750/400 kV Isaccea.* În Energetica, 35, 1987, nr. 4, p. 170—181.

[10] Drăghicescu, C., Munteanu, C., Badea, N. *Considerații tehnice pentru fundamentarea unor măsuri de electrosecuritate în zonele de influență a instalațiilor de 750 kV.* În: Energetica, 35, 1987, p. 407—412.

(Primit la 25 mai 1988, acceptat la 6 august 1988)

NOUTĂȚI

*Invenții — Inovații**

(54) Titlul invenției: **Matriță combinată, multifuncțională de formare prin injectare indirectă nepunctiformă, pentru materiale plastice**
(72) Inventator: ing. Polescu Ioan Petre
(21) Dosar nr.: 118250
(22) Data înregistrării: 03.04.1985
(51) Clasificare internațională: B 29 C 45/32
(11) Brevet România: 92760
(73) Titular: Institutul de Cercetări și Modernizări Energetice.

Invenția se referă la o matriță combinată multifuncțională de formare prin injectare indirectă nepunctiformă, pentru materiale plastice, prevăzută cu o distribuție laterală de alimentare cu comutare superioară, inferioară sau combinația dintre ele.

În vederea realizării pieselor-plastice, a subansamblurilor plastice sau a produselor-plastice, prin intermediul procedeului de prelucrare neconvențională, de formare prin injectare indirectă și nepunctiformă, se cunoaște soluția tehnică de matriță de formare prin injectare comutabilă, prevăzută cu o distribuție centrală de alimentare cu comutare superioară.

Se cunoaște, de asemenea, soluția tehnică de matriță de formare prin injectare comutabilă prevăzută cu o distribuție centrală de alimentare cu comutare inferioară.

Soluțiile tehnice cunoscute prezintă următoarele dezavantaje:

— matrițele sînt prevăzute cu un singur distribuitor de alimentare comutabil;

— rețelele de injectare generale, prezintă un singur traseu de alimentare comutabil;

— schemele de lucru comutabile nu permit creșterea numărului posibil de piese, de diferite tipuri, ce se poate realiza prin intermediul aceleiași matrițe de formare prin injectare nepunctiformă și comutabilă.

Problema pe care o rezolvă invenția este creșterea numărului posibil de piese, de diferite tipuri, ce se poate realiza cu ajutorul aceleiași matrițe de formare prin injectare nepunctiformă și comutabilă, utilizîndu-se o distribuție laterală de alimentare, varianta tehnologică cu comutare superioară, inferioară sau combinația dintre ele.

În cele ce urmează, se dau exemple de realizare a invenției ilustrată în figurile 1—3, care reprezintă:

— figura 1: secțiune verticală printr-o matriță combinată multifuncțională, de formare prin injectare indirectă, nepunctiformă și comutabilă, prevăzută cu o flexibilitate de alimentare, varianta tehnologică cu comutare superioară, inferioară sau combinația dintre ele;

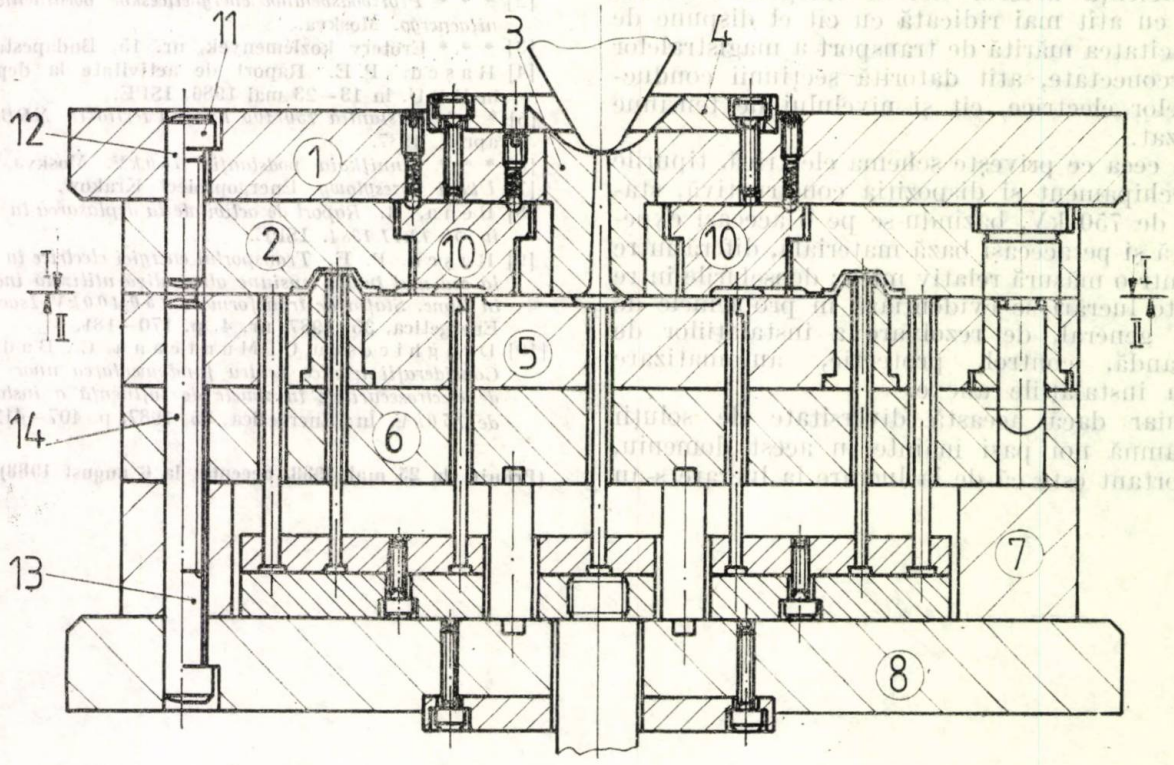


Fig. 1. Matriță de formare prin injectare comutabilă prevăzută cu distribuitoare laterale de alimentare cu comutare superioară.

— figura 2: secțiune verticală printr-o matriță combinată multifuncțională, de formare prin injectare indirectă, nepunctiformă și comutabilă, prevăzută cu o flexibilitate de alimentare, varianta tehnologică cu comutare laterală inferioară;

— figura 3: secțiune verticală parțială printr-o matriță combinată multifuncțională, de formare prin injectare indirectă, nepunctiformă și comutabilă, prevăzută cu o flexibilitate de alimentare, varianta tehnologică cu comutare laterală superioară, combinată cu comutare laterală inferioară.

Matrițele conform invenției, așa cum se vede în figurile 1 și 2, sînt constituite dintr-un subansamblu fix de plăci (semimatrița fixă) și dintr-un subansamblu mobil de plăci (semimatrița mobilă) (fig. 1, 2).

* Rubrică realizată de Colectivul Invenții — Inovații, ICEMENERG, în colaborare cu Colectivul Invenții — Inovații, M.E.E.

Semimatrițele fixe, așa cum se observă în figurile 1 și 2, sînt constituite dintr-o placă de prindere superioară **1** și dintr-o placă de formare superioară **2**. Plăcile **1** și **2** sînt asamblate prin intermediul unor șuruburi **11** și al unor știfturi de centrare **12**. În zona centrală a plăcilor **1** și **2** se montează o duză de injecție **3** necomutabilă, blocată în semimatrița fixă prin intermediul unui inel de centrare superior **4**. După cum se observă în figura 1, în placa **2** se montează două sau mai multe distribuitoare laterale de injectare cu comutare superioară **10**.

Distribuitoarele **10** asigură rețelelor de injectare generale comutabile o flexibilitate de alimentare (varianta tehnologică cu comutare laterală superioară), ceea ce îmbunătățește distribuția și transportul fluidului de material plastic în interiorul matriței.

Semimatrițele mobile, la rîndul lor, așa cum se observă în figurile 1 și 2, sînt constituite dintr-o placă de formare inferioară **5**, dintr-o placă port-matriță **6**, din plăcile distanțiere **7** și dintr-o placă de prindere inferioară **8**. Plăcile **5**, **6**, **7** și **8** sînt asamblate prin intermediul unor șuruburi **13** și a unor știfturi de centrare **14**.

În comparație cu matrița prezentată în figura 1, conform invenției, în placa de formare **5** se montează, așa cum se vede în figura 2, două sau mai multe distribuitoare laterale de injectare cu comutare inferioară **9**. Distribuitoarele **9** asigură rețelelor de injectare generale comutabile o flexibilitate de alimentare (varianta tehnologică cu comutare laterală inferioară), ceea ce permite îmbunătățirea deplasării fluidului de material plastic plastificat, de la duza de injecție **3** a matriței pînă la locașurile de formare inferioare.

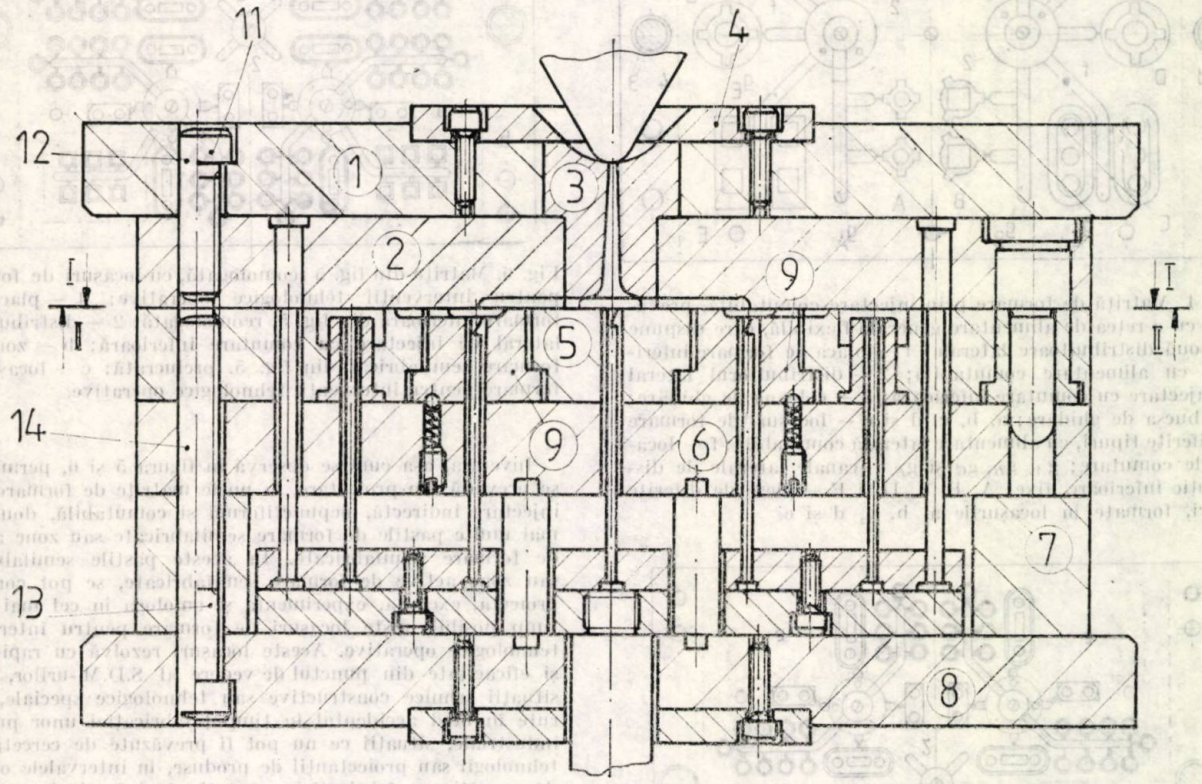


Fig. 2. Matriță de formare prin injectare comutabilă, prevăzută cu distribuitoare laterale de alimentare cu comutare inferioară.

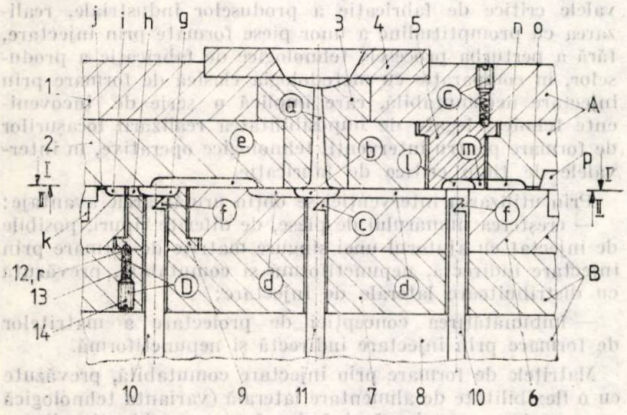


Fig. 3. Matriță de formare prin injectare comutabilă, prevăzută cu distribuitoare laterale de alimentare cu comutare superioară, combinate cu distribuitoare laterale de alimentare cu comutare inferioară: 1 — placa de prindere superioară; 2 — placa de formare superioară cu alimentare comutabilă; 3 — duza de injecție necomutabilă; 4 — inelul de centrare superior; 5 — distribuitorul lateral de injectare cu comutare superioară; 6 — placa de formare inferioară cu alimentare comutabilă; 7 — placa port-matriță; 8 — placa distanțier; 9 — distribuitorul lateral de injectare cu comutare inferioară; 10 — extractorul lateral de culee; 11 — extractorul central de culee; 12 — bila de blocare; 13 — resort; 14 — dop filetat; A — semimatrița fixă; B — semimatrița mobilă; C — subansamblul de blocare superior; D — subansamblul de blocare inferior; a — canalul central conic de injectare necomutabil; b — cavitatea centrală de distribuție inferioară, fixă și fără autoextracție; c — locașul central al extractorului de culee fără autoextracție; d—canalul central de alimentare inferior, fix; e — canalul intermediar de alimentare superior, fix; f — locașul lateral al extractorului de culee, fără autoextracție; g — cavitatea laterală de distribuție cu comutare inferioară; h — microcanalul lateral de alimentare cu comutare inferioară; i — canalul lateral de alimentare inferior, fix; j — microcanalul lateral puntiță de injectare, inferior, fix; k — locașul de formare, care imprimă pe piesă o urmă de injectare inferioară; l — cavitatea laterală de distribuție cu comutare superioară; m — microcanalul lateral de alimentare cu comutare superioară; n — canalul lateral de alimentare superior, fix; o — microcanalul lateral puntiță de injectare superior, fix; p — locașul de formare, care imprimă pe piesă o urmă de injectare superioară; z — locașul de blocare.

În comparație cu matrițele indirecte (fig. 1 și 2), conform invenției, matrița comutabilă din figura 3 este prevăzută cu o flexibilitate de alimentare (varianta tehnologică cu comutare laterală combinată). Matrița din figura 3 este prevăzută cu distribuitoarele laterale superioare **5**, combinate cu distribuitoarele laterale inferioare **9**. Numărul acestor

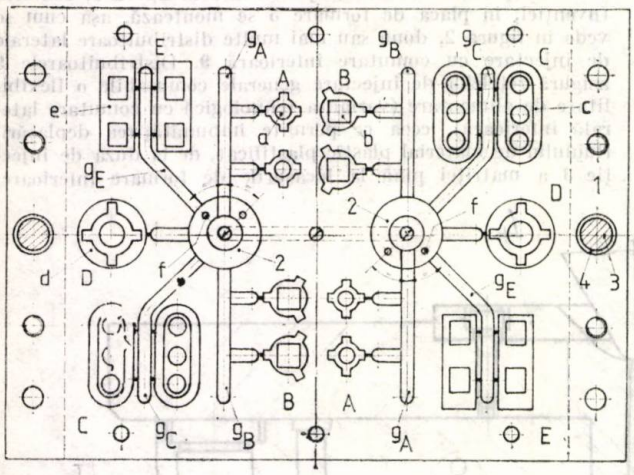


Fig. 4. Matriță de formare prin injectare comutabilă, prevăzută cu o rețea de alimentare generală flexibilă, care dispune de două distribuitoare laterale: 1 — placa de formare inferioară cu alimentare comutabilă; 2 — distribuitorul lateral de injectare cu comutare inferioară; 3 — coloana de ghidare; 4 — bucșa de ghidare; a, b, c, d și e — locașuri de formare de diferite tipuri, cu alimentare laterală comutabilă; f — locașul de comutare; g_A, g_B, g_C și g_E — canale laterale de distribuție inferioare, fixe; A, B, C, D și E — piese de diferite tipuri, formate în locașurile a, b, c, d și e.

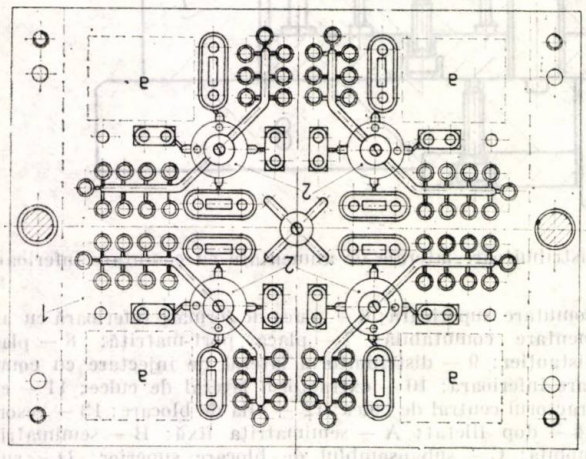


Fig. 5. Matriță de formare prin injectare comutabilă, prevăzută cu patru distribuitoare laterale de alimentare și cu patru zone de formare semifabricate: 1 — placa de formare inferioară omologată, prevăzută cu alimentare comutabilă laterală; 2 — distribuitorul lateral de injectare cu comutare inferioară; a — zona de formare semifabricat pentru intervenții tehnologice operative.

distribuitoare laterale, utilizate în construcția matrițelor de formare prin injectare comutabilă, sînt în concordanță cu schemele de lucru comutabile ale matrițelor, concepute de proiectantul de S.D.M.-uri, așa cum se observă în figurile 1—6.

Numărul locașurilor de formare identice, prevăzute cu alimentare laterală comutabilă, preconizate de proiectantul de matriță, necesare pentru fiecare fază de injectare diferită (fig. 4), depind de o serie de elemente tehnico-economice, indicate prin tema de proiectare a matriței. Aceste elemente tehnico-economice sînt furnizate de către cercetătorii, tehnologii sau proiectanții de produse noi sau modernizate, care utilizează în concepția, proiectarea și fabricarea produselor industriale piese sau subansambluri confecționate din materiale plastice prelucrate prin injectare.

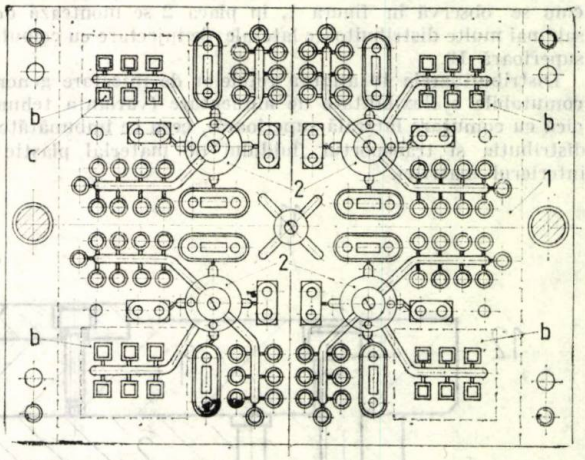


Fig. 6. Matrița din fig. 5 reomologată, cu locașuri de formare pentru intervenții tehnologice operative: 1 — placa de formare inferioară din fig. 5, reomologată; 2 — distribuitorul lateral de injectare cu comutare inferioară; b — zona de formare semifabricat din fig. 5, prelucrată; c — locașul de formare pentru intervenții tehnologice operative.

Invenția, așa cum se observă în figura 5 și 6, permite să se prevadă din proiectare, la unele matrițe de formare prin injectare indirectă, nepunctiformă și comutabilă, două sau mai multe pastile de formare semifabricate sau zone active de formare semifabricate. În aceste pastile semifabricate sau zone active de formare semifabricate, se pot concepe, proiecta, executa, experimenta și omologa în cel mai scurt timp posibil, niște locașuri de formare pentru intervenții tehnologice operative. Aceste locașuri rezolvă cu rapiditate și eficacitate din punctul de vedere al S.D.M.-urilor, unele situații tehnice constructive sau tehnologice speciale, apărute în mod accidental în timpul fabricației unor produse industriale, situații ce nu pot fi prevăzute de cercetătorii, tehnologii sau proiectanții de produse, în intervalele optime de pregătire a fabricației, respectiv înainte de lansarea în fabricație a produselor industriale.

În concluzie, invenția rezolvă cu operativitate, în intervalele critice de fabricație a produselor industriale, realizarea cu promptitudine a unor piese formate prin injectare, fără a perturba procesele tehnologice de fabricație a produselor, în comparație cu metodologia clasică de formare prin injectare necomutabilă, care implică o serie de inconveniente tehnice, legate de imposibilitatea realizării locașurilor de formare pentru intervenții tehnologice operative, în intervalele de timp critice de fabricație.

Prin utilizarea intervenției se obțin următoarele avantaje:

— creșterea numărului de piese, de diferite tipuri, posibile de injectat cu ajutorul unei singure matrițe de formare prin injectare indirectă, nepunctiformă și comutabilă, prevăzută cu distribuitoare laterale de injectare;

— îmbunătățirea concepției de proiectare a matrițelor de formare prin injectare indirectă și nepunctiformă.

Matrițele de formare prin injectare comutabilă, prevăzute cu o flexibilitate de alimentare laterală (varianta tehnologică cu comutare superioară, inferioară sau combinația dintre ele), inventate, se pot aplica și generaliza în toate întreprinderile industriale ale economiei naționale, care au în dotare mașini de injecție și dispun de ateliere, microateliere sau secții de prelucrare a maselor plastice.

Referințe bibliografice

Brevete R.S.R. nr. 91168 și 91364

CEA DE-A 32-A SESIUNE A CIGRE

28 august—3 septembrie 1988

(Scurtă prezentare)

Conferința Internațională a Marilor Rețele Electrice (CIGRE) și-a ținut cea de a 32-a sesiune bienală la Paris, în încăperile Palatului Congreselor, vastul edificiu nou construit în apropiere de Place de la Porte Maillot (situată în vestul periferiei orașului). Pentru prima dată, CIGRE a încadrat această sesiune într-o durată de o săptămînă în scopul micșorării cheltuielilor de sejur ale participanților. În schimb, comitetul tehnic a avut probleme dificile pentru programarea ședințelor relativ numeroase.

Au participat circa 2500 congresiști provenind din 69 țări. Lucrările s-au desfășurat în cadrul celor 15 grupe de specialitate, unde au fost examinate 204 rapoarte selecționate de către Comitetele Naționale. În plus, au fost organizate cîteva ședințe cu caracter mai general și anume:

— o masă rotundă privind fiabilitatea rețelelor electrice;

— o masă rotundă privind rețelele electrice din țările în curs de dezvoltare.

O sală specială a fost destinată proiecției a 30 de filme tehnice selecționate.

Cititorii interesați vor găsi în publicația **„Energetica peste hotare — Informații tehnico-științifice"** rezumatele lucrărilor prezentate și discutate în fiecare grupă de specialitate.

Organizatorii sesiunii au anunțat că în primăvara acestui an vor apărea rapoartele complete ale sesiunii elaborate de către raportorii speciali. Ca și în sesiunile precedente rapoartele vor cuprinde discuțiile de la fiecare din cele 15 grupe de specialitate.

Principalele idei care au rezultat din discuții la fiecare grupă în parte sînt următoarele:

— Creșterea mărimii unitare a mașinilor rotative mari este moderată de apariția unor factori, cum ar fi: conservarea energiei, importanța crescîndă a fiabilității. Temele discutate s-au referit la noile tendințe în materie de concepție, ameliorare a fiabilității și a duratei de viață, comportarea la vibrații. Punerea la punct în laborator a unor materiale supraconductoare la temperatura azotului lichid a sporit interesul acordat discuțiilor relativ la proiectele de alternatoare criogenice în ciuda complexității relative a acestor mașini.

(Grupa 11. *Mașini Rotative*)

— Evaluarea pierderilor și influența lor asupra concepției transformatoarelor a fost un subiect îndelung discutat. Preocupările privind conservarea energiei sporesc interesul arătat acestei probleme, fiind îndreptate spre alegerea materialelor magnetice, influența procedeelor de fabricație, controlul cîmpului în exteriorul înfășurărilor etc. Construirea de stații și posturi de transformare din ce în ce mai apropiate de zonele rezidențiale a avut drept rezultat creșterea importanței acordate influenței asupra mediului: propagarea zgomotului, riscul de incendiu și de deversare a uleiului ca urmare a unei rupturi la cuvă etc.

(Grupa 12. *Transformatoare*)

— Datorită realizării noilor întrerupătoare, perioadele de întreținere sînt mai rare. În același timp, mijloacele de control și de diagnostic permit o mai bună cunoaștere a stării materialului. O consecință a complexității tot mai mari a rețelelor moderne este frecvența crescută a condițiilor de funcționare a întrerupătoarelor în afara normelor, acestea constituind probleme deosebite pentru constructorii de echipamente.

(Grupa 13. *Întrerupătoare*)

— Tehnicile de transport în curent continuu se dezvoltă prin idei noi și inovații legături multi-terminale, noi concepte de comandă în vederea controlării schimbului de putere reactivă între rețele interconectate, tensiuni mai mari de +/—600 kV pentru legăturile mai lungi de 2000 km etc.

(Grupa 14. *Transportul în curent continuu*)

— În domeniul materialelor izolante, preocupările au fost asemănătoare celor care au stat în atenția grupelor însărcinate cu studierea componentelor rețelelor și anume: comportarea gazului SF_6 și a celorlalte gaze cu mare rigiditate în prezența fenomenelor tranzitorii rapide, diagnosticarea din timp a fenomenelor de îmbătrînire, efectele undelor de șoc asupra dielectricilor lichizi, noi dielectrici pentru condensatoare etc.

(Grupa 15. *Materiale izolante*)

— Concepția cablurilor de înaltă tensiune cu izolație extrudată a constituit obiectul unor noi discuții: grosimea optimă a izolației, riscurile privind apariția arborescențelor de apă, progresul realizat în ce privește accesoriile de joncțiune etc.

(Grupa 21. *Cabluri de înaltă tensiune*)

— Calculul probabilistic al liniilor aeriene, elaborat încă din anii '60, este luat acum în considerație în publicațiile CEI, și anume: concepția de dimensionare electrică a liniilor aeriene, studiul sarcinilor climatice și influența parametrilor mecanici asupra costurilor și a fiabilității. S-au discutat noi dezvoltări în materie de conductoare și de piloni și evoluția metodelor de întreținere.

Tehnicile numerice sînt aplicate de mai mulți ani, iar concepția lor integrată rețelei a fost propusă acum de mai mulți producători de electricitate. Modificările tehnice implicate de astfel de sisteme afectează și oamenii și organizarea.

Un alt subiect important privește legarea la pămînt și eliminarea tensiunilor induse în special în cazul utilizării de dispozitive electronice.

(Grupa 22. *Linii aeriene și*
Grupa 33. *Supratensiuni și coordonarea izolației*)

— Dezvoltarea mondială a instalațiilor capsulate a scos din nou în relief problema supratensiunilor de trăsnet, constatîndu-se existența unor noi forme de supratensiuni cu frecvențe mult superioare celor întîlnite în instalațiile tradiționale.

(Grupa 23. *Stații*)

— Tehnicile de protecție prin relee au făcut progrese rapide în ultimii 20 de ani, datorită introducerii microprocesoarelor și a optoelectronicii. Discuțiile au fost orientate către două teme principale: îmbunătățirea performanțelor sistemelor de protecție prin relee datorită introducerii tehnicilor numerice în domeniul comenzii, al protecțiilor și al interfeței om-mașină; noi concepții în materie de protecție prin relee introduse de aceste tehnici și interacțiunile între protecție și comanda automată.

A fost organizată, de asemenea, o discuție liberă pe tema sistemelor expert.

(Grupa 34. *Protecție*)

— În domeniul telecomunicațiilor accentul a fost pus pe sistemele de transmisie numerică și interesul pentru calitatea semnalelor. Cei care au sarcina exploatării rețelelor solicită din ce în ce mai mult instalațiile de telecomandă ale căror dimensiuni și complexitate cresc cu rapiditate. În cadrul acestei discuții un accent deosebit a fost pus pe multitudinea de date ce pot rezulta în urma unei perturbații majore a rețelei.

(Grupa 35. *Telecomunicații și telecomandă*)

— Grupul însărcinat cu studierea perturbațiilor a fost preocupat în paralel de comportarea echipamentelor de telecomunicații atunci cînd sînt supuse perturbațiilor electromagnetice de frecvență înaltă și fenomenelor de inducție de frecvență industrială.

(Grupa 36. *Perturbații*)

— În domeniul interconexiunilor s-a discutat lărgirea continuă a zonelor pentru obținerea avantajelor cunoscute prin combinarea producției termo cu cea hidroelectrică, prin diversitatea sarcinilor consumatorilor, prin diferențele de climă și de meridiane etc. S-au scos în evidență avantajele instalațiilor combinate de turbine cu gaz cu turbine cu abur etc.

(Grupa 37. *Planificarea și evoluția rețelelor*)

— S-a scos în evidență influența noilor tehnici asupra creșterii capacității de transport al liniilor printr-un control mai bun al puterii reactive și al tensiunii, ameliorarea supleței ca urmare a progreselor înregistrate în domeniul metodelor de analiză și reducerea costurilor prin optimizarea și localizarea surselor de putere reactivă.

În ceea ce privește transportul energiei electrice pe distanțe lungi sau în zone cu o mare densitate a populației, a fost pusă la punct tehnologia tensiunilor foarte înalte. Principalele proiecte sînt totuși în întîrziere, cu excepția noii linii sovietice de 1150 kV Siberia-Ural (2300 km), al cărei prim tronson Ekibastuz-Kokchetav (500 km) este deja în funcțiune.

Dezvoltarea tehnicilor numerice și-a găsit, în sfîrșit, un nou domeniu de aplicare în exploatarea rețelelor: asigurarea siguranței, a calității și a eficienței exploatării, noi instrumente pentru previziunile de putere reactivă și activă, funcționarea centrelor de control.

(Grupa 38. *Analiza și tehnicile rețelelor* și
Grupa 39. *Exploatarea și conducerea rețelelor*)

Dr. ing. Gheorghe Bălan
ICEMENERG

ANIBAL BACIU
1926—1988

La 4 decembrie 1988 s-a stins din viață, la numai 62 de ani, ing. Anibal Baciu. A fost absolvent al Institutului Politehnic „Traian Vuia" din Timișoara. În tot timpul studenției (1945—1950) a dat dovadă de multă sîrguință în însușirea cunoștințelor tehnice.

A fost polisportiv de performanță, cunoscut prin participarea sa la activitatea Clubului Sportiv Universitatea Timișoara, în echipele de handbal, baschet, fotbal și volei.

La terminarea facultății, în 1950, a fost angajat la Intreprinderea Regională de Electricitate Banat, devenită ulterior IRE Timișoara, unde a activat succesiv în diverse funcții, ajungînd, în 1955, inginer șef.

În timpul acestei perioade a participat la realizarea unor lucrări remarcabile pentru acea epocă : interconectarea la 35 kV între Timișoara și Arad (1954), proiectarea și executarea liniei de 100 kV Paroșeni — Oțelul Roșu — Reșița (1955—1956), interconectarea subsistemului Reșița la Sistemul Electroenergetic Național (12.12.1956), executarea liniei de 110 kV Oțelul Roșu — Timișoara (1957).

În anul 1965 s-a terminat electrificarea ținutului Banat, la care Anibal Baciu a participat cu pricepere și mult efort.

Datorită capacității sale deosebite, Anibal Baciu a fost promovat, din 1969, la conducerea Centralei Industriale de Transport și Distribuție a Energiei Electrice—CITDEE, ca director al exploatării și apoi ca director general adjunct al Centralei Industriale a Energiei Electrice și Termice (CIEET), iar din 1977 director general al Centralei Industriale de Rețele Electrice — CIRE. În ultima perioadă, din 1978 pînă la pensionare, a fost director adjunct al Direcției Plan-Dezvoltare.

În toate funcțiile avute a adus contribuții deosebite, datorită experienței bogate și modului organizat de a lucra.

Anibal Baciu și-a popularizat experiența în cărți utile celor care doresc să-și lărgească cunoștințele în domeniul energiei electrice, precum : *Energia electrică și mediul înconjurător*, în colaborare cu Cristian Baciu ; *Energia electrică și organismul viu* în colaborare cu dr. Clement Baciu și *Tehnologia de transport, distribuție și utilizare a energiei electrice*, în colaborare cu Nogali Vitali.

De asemenea, a fost un colaborator de seamă la *Istoria energeticii în România*, perioada 1950—1985.

Datorită orizontului său larg de cunoștințe a fost un conferențiar mult apreciat în cadrul Universității Populare București, precum și în cadrul Centrului de Perfecționare a Lucrătorilor — M.E.E. pentru valoarea expunerilor de specialitate.

Ing. Radu Zane
Ing. Paul Cartianu

СОДЕРЖАНИЕ

ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭНЕРГЕТИКА

ЛУЧИА КРИСТИНА ДУМИТРИУ, КЭТЭЛИН ДУМИТРИУ: К вопросу об оптимизации работы промышленных потребителей посредством учета ущерба качественного характера нанесенного нарушениями снабжения их электроэнергией 97—102

ТЕПЛОЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

КОНСТАНТИН НЯГА: Тепловой режим газов сгорания при переводе котлов с жаровыми трубами, работающих на высокосортном углеводородном топливе, на газовое топливо с использованием газогенератора 103—106

АТОМНЫЕ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

ВАСИЛЕ ПОПОВИЧ, АЛЕКСАНДРУ ХРИСТОФОРОВ, РОМЕО ЗБАРЧА: Транспортировка и манипуляция тяжелого и/или негабаритного оборудования на ТЭС и АЭС 107—115

КОНСТАНТИН СИМА, ДЖОРДЖЕ МАРИНЕСКУ, МАРИЯ ГЕОРГИУ: Специальные вопросы экономического расчета на АЭС 116—120

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СЕТИ

ПАУЛ ЭМИЛ РАШКУ: Сравнительные замечания об электрических подстанциях 750 кВ, существующих в странах-членах СЭВ 121—135

НОВОСТИ

ИЗОБРЕТЕНИЯ — НОВАТОРСТВО 136—138

ХРОНИКА

ГЕОРГЕ БЭЛАН: 32-я сессия CIGRE 28. августа-3 сентября 1988 г, 139—140

ИЗ МИРОВОЙ ЭНЕРГЕТИКИ 102, 120

ПЕРСОНАЛИИ 141

INHALT

DIE ENERGIEWIRTSCHAFT IN INDUSTRIEBETRIEBEN

LUCIA CRISTINA DUMITRIU, CĂTĂLIN DUMITRIU: Beiträge zur Optimierung des Betriebs von Industrieverbrauchern durch die Berücksichtigung der durch Elektroenergieversorgungsstörungen ausgelösten Qualitätsschäden 97—102

WÄRMEKRAFTWERKE

CONSTANTIN NEAGA: Das thermische Regime der Rauchgase von Flammrohrkesseln beim Brennstoffwechsel von hochwertigen Kohlenwasserstoffen auf Vergasergas 103—106

KERNKRAFTWERKE

VASILE POPOVICI, ALEXANDRU HRISTOFOROV, ROMEO ZBARCEA: Der Transport und die Handhabung der schweren und/oder überdimensionalen Ausrüstungen für Wärme- und Kernkraftwerke 107—115

CONSTANTIN SIMA, GEORGE MARINESCU, MARIA GHEORGHIU: Spezifische Fragen der Wirtschaftlichkeitsberechnung bei Kernkraftwerken 116—120

ELEKTRISCHE NETZE

PAUL EMIL RAȘCU: Vergleichende Betrachtungen über die in den RGW Ländern errichteten 750 kV Umspannanlagen 121—135

NEUIGKEITEN

ERFINDUNGEN-NEUERUNGEN 136—138

CHRONIK

GHEORGHE BĂLAN: Die 32. CIGRE-Tagung, 28. August—3. September 1988 139—140

DIE ENERGIEWIRTSCHAFT WELTWEIT 102, 120

DE PERSONIS 141

SOMMAIRE

L'ÉNERGIE DANS L'ENTREPRISE

LUCIA CRISTINA DUMITRIU, CĂTĂLIN DUMITRIU: Contributions à l'optimisation du fonctionnement des consommateurs industriels en tenant compte des dommages causés à la qualité par suite de la perturbation de leur alimentation en énergie électrique 97—102

CENTRALES THERMIQUES

CONSTANTIN NEAGA: Le régime thermique des gaz de combustion lors de la conversion du fonctionnement des chaudières à tube de flamme à hydrocarbures de qualité supérieure au fonctionnement à gaz de gazogène 103—106

CENTRALES NUCLÉAIRES

VASILE POPOVICI, ALEXANDRU HRISTOFOROV, ROMEO ZBARCEA: Le transport et la manutention de l'équipement encombrant/ou hors dimension destiné aux centrales thermiques et nucléaires 107—115

CONSTANTIN SIMA, GEORGE MARINESCU, MARIA GHEORGHIU: Problèmes spécifiques de calcul économique concernant les centrales nucléaires 116—120

RÉSEAUX ET POSTES ÉLECTRIQUES

PAUL EMIL RAȘCU: Considérations comparatives sur les postes électriques de 750 kV construits dans les pays membres du CAEM 121—135

NOUVEAUTÉ

INVENTIONS—INNOVATIONS 136—138

CHRONIQUE

GHEORGHE BĂLAN: La 32-ème Session de CIGRE, 28 août—3 septembre, 1988 139—140

L'ENERGIE DANS LE MONDE 102,120

DE PERSONIS 141

CONTENTS

ENERGY IN THE ENTERPRISES

LUCIA CRISTINA DUMITRIU, CĂTĂLIN DUMITRIU: Contributions to the Industrial Consumers Operation Optimization with Consideration of the Quality Damages Caused by Their Electric Energy Supply Disturbance 97—102

THERMAL POWER PLANTS

CONSTANTIN NEAGA: The Flue Gas Thermal Regime of Fire-Tube Boilers Refuelled from High Grade Hydrocarbons to Producer Gas 103—106

NUCLEAR POWER PLANTS

VASILE POPOVICI, ALEXANDRU HRISTOFOROV, ROMEO ZBARCEA: The Transport and Handling of Heavy and/or Oversized Equipment for Thermal and Nuclear Power Plant 107—115

CONSTANTIN SIMA, GEORGE MARINESCU, MARIA GHEORGHIU: Specific Economic Computation Problems at Nuclear Power Plant 116—120

ELECTRIC NETWORKS

PAUL EMIL RAȘCU: Comparative Approach of the 750 kV Transformer Sub-stations Erected in COMECON Countries (with a short presentation in English) 121—135

NEWS

INVENTIONS—INNOVATIONS 136—138

CHRONICS

GHEORGHE BĂLAN: The 32-nd CIGRE-Session, August 28—September 3, 1988 139—140

ENERGY WORLDWIDE 102,120

DE PERSONIS 141

COLEGIUL DE REDACȚIE

Președinte, redactor responsabil: **dr. ing. Eugeniu Pavel**
Redactori responsabili adjuncți: **dr. ing. Mihai G. M. Pop, dr. ing. Gheorghe Bălan, ing. Radu Opincaru**
Secretar de redacție: **dr. ing. Teodor Popa**

Gestiunea financiară: **ec. Pompiliu Silvășanu**
Orientări în energetică: **dr. ing. Mario Duma**
Energetica în unități economice: **ing. Ion Măiereanu, ing. Alexandru Floreseu**
Dezvoltarea sistemelor energetice: **dr. ing. Nicolae Armeneoiu, dr. ing. George Manolescu**
Conducerea și automatica SE: **dr. ing. Victor Romert, dr. ing. Jean Constantinescu**
Centrale termoelectrice: **conf. dr. ing. Costin Moțoiu, ing. Romeo Zbarcea**
Centrale hidroelectrice: **dr. ing. Gheorghe Luca**
Centrale nuclearoelectrice: **ing. Adrian Georgescu, prof. dr. ing. Nicolae Dănilă, ing. Mircea Tarța**
Rețele electrice: **ing. Dinu Voinea, ing. Nicolae Georgian**
Alimentare cu căldură: **ing. Nicolae Niculescu**
Surse și tehnologii noi: **ing. Constantin Popescu**
Tehnologii chimice în energetică. Poluare: **dr. chim. Maria Maftei**
Organizarea producției și a muncii: **ing. Miron Popescu**
Terminologia energetică: **dr. ing. Iosif Cserveny**
Istoria electrificării: **ing. Paul Cartianu**
Noutăți: **ing. Mihai Nistor, ing. Romulus Sfichi**
Centre universitare și industriale:
București: **conf. dr. ing. Alexandru Selischi**
Iași: **prof. dr. ing. Alexandru Poeată**
Timișoara: **prof. dr. ing. Viorel Negru**
Cluj-Napoca: **conf. dr. ing. Silviu Darie**

Acest număr a fost realizat cu ajutorul următorilor secretari ai grupelor de specialitate:

— **ing. Angela Perea** — Energetica în unități industriale
— **ing. Anton Roșu** — Centrale termoelectrice
— **ing. Călin Teodorescu** — Centrale nuclearoelectrice
— **dr. ing. Traian Ionescu** — Rețele electrice

Revista „ENERGETICA" este editată și administrată de Institutul de Cercetări și Modernizări Energetice prin Oficiul de Informare-Documentare pentru Energetică.
Vasile Pleșca — șef OIDE, **Ana Maria Chivu** — redactor

Revista ENERGETICA — publicație lunară, reflectă preocupările spirituale și realizările materiale în domeniul energeticii. Funcționează în conformitate cu *ROF* aprobat cu Ordinul nr. 97/1987, publicat în numărul 4/87 al revistei. Elaboratorii de lucrări propuse pentru publicare sînt rugați să consulte „*Îndrumările pentru întocmirea și prezentarea lucrărilor propuse pentru a fi publicate în revista Energetica*", „*Ghidul pentru avizarea lucrărilor propuse pentru a fi publicate în revista Energetica*" apărute în numărul 12/86, precum și „*Planul tematic al revistei Energetica pe anii* 1987 — 1990" publicat în nr. 5/1987 al revistei.

Abonamentele se pot achita în contul de virament nr. 30.11.8.01.01 — BN R.S.R. fil. sector 3 sau direct la redacție. Costul unui abonament: 114 lei anual; costul unui exemplar: 12 lei.

41 401

ANNOUNCEMENTS FOR READERS ABROAD

- **The review "Energetica" can send on request from publications abroad reports translated in one of the worldwide spoken languages.**
- **The review "Energetica" proposes a publication exchange with similar rewievs and in relating fields.**
- **The review "Energetica" provides and publishes or introduces books on energy received at the editorial office. Reviews and presentations of books sent on this purpose to the editorial office can be published as well**
- **The review "Energetica" publishes on request form authors abroad reports of other materials technical and scientific news, investions-innovations, information about technical and scientific symposia, etc. written in one of the worldwide spoken languages**
- **Readers from abroad can subscribe through : ROMPRESFILATELIA — sectorul import-export, P. O. Box 12—201, telex 10376 prsfir, Calea Griviței nr. 64—66, București — România.**

Tiparul: Întreprinderea Poligrafică „Informația", București, str. Brezoianu 23—25 c—1140

I.S.P.H.

INSTITUTUL DE STUDII ŞI PROIECTĂRI HIDROENERGETICE

29, Republicii Blvd., 79669 Bucharest,
Romania,
Phone 147270, Telex 11-443 i. s. p. h. r.

ISPH-Designing Institute with complex profile offers :

SPECIAL ACTIVITIES

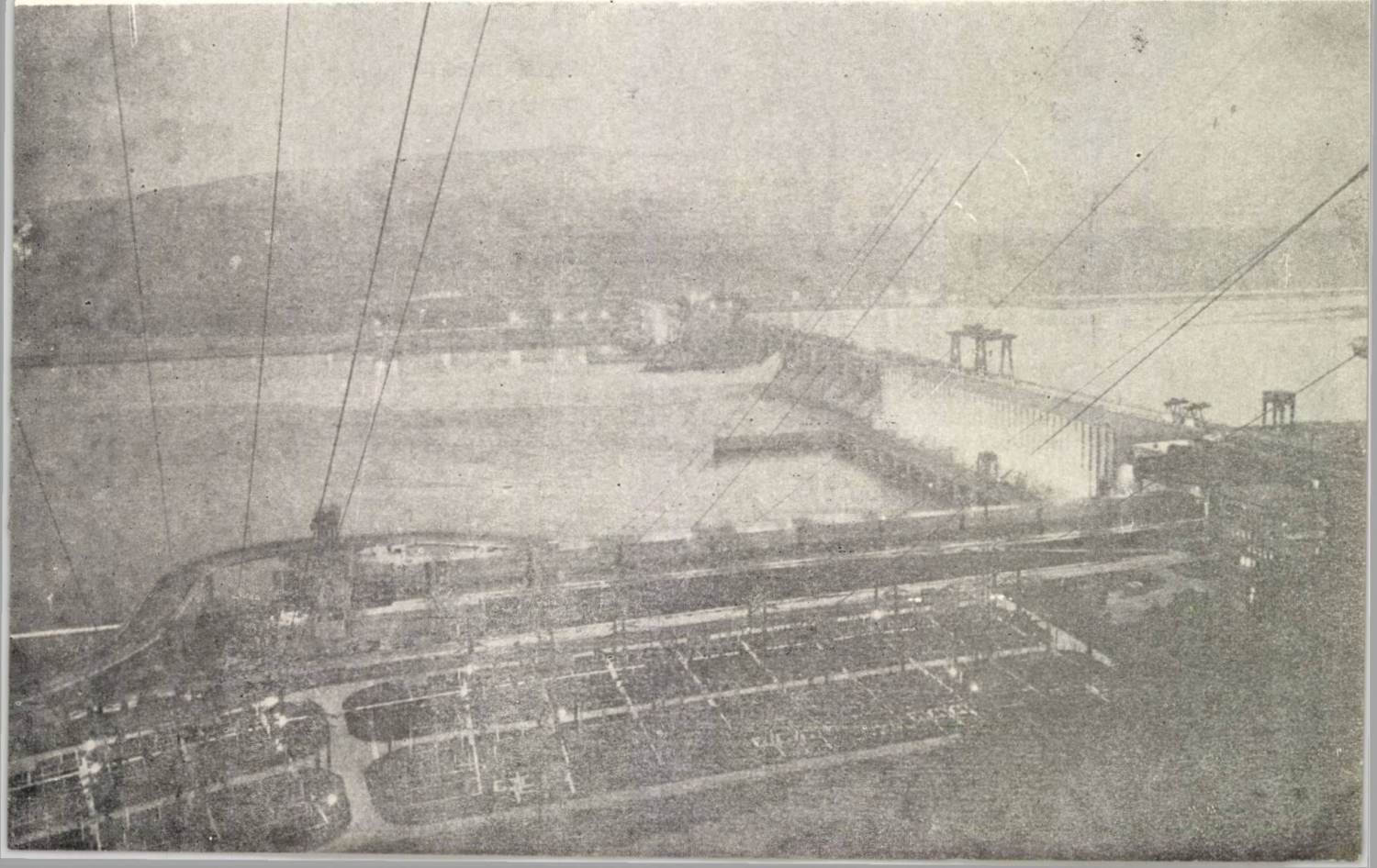
- hydrological and hydrogeological studies
- engineering-geological investigations
- geotechnical and geophysical explorations, soil and rock mechanic investigations
- topographical surveys and mapping

SPECIAL SERVICES

- preliminary studies and designs
- feasibility studies
- final designs
- detailed construction drawings
- tender documents and contracts
- inspection and supervision
- expert's reports

RIVER BASIN DEVELOPMENT STUDIES

- hydroelectric developments
- multipurpose hydraulic developments
- special hydraulic structures



trustul
ANTREPRIZĂ GENERALĂ
energomontaj

71223 BUCUREŞTI Calea Dorobanţilor nr.1o3-1o5
Telefon 797o2o telex 11335 cont 3o119o7o52ao2 BI-SMB

1949-1989

40 ANI

1990 MAR 2.0

EXECUTĂ MONTAREA, PROBE ŞI ÎNCERCĂRI FUNCŢIONALE
ŞI REPARAŢIILE CAPITALE ALE ECHIPAMENTELOR ŞI INSTALAŢIILOR ENERGETICE
PENTRU CENTRALE ELECTRICE ŞI DIFERITE OBIECTIVE INDUSTRIALE

- **Echipamente şi instalaţii pentru centrale termoelectrice şi centrale electrice de termoficare:**
  - cazane de abur de mare capacitate şi parametri înalţi de funcţionare
  - turbine cu abur de puteri unitare pînă la 345 MW
  - instalaţii de combustibil pentru cărbuni, păcură, gaze
  - alte instalaţii termomecanice şi mecanice aferente centralelor termoelectrice.
- **Echipamente şi instalaţii pentru centrale hidroelectrice şi instalaţii hidrotehnice:**
  - turbine hidraulice de orice tip, pînă la puteri unitare de 176 MW,
  - echipamente şi alte instalaţii pentru centrale hidro şi termoelectrice, conducte forţate
  - echipamente şi instalaţii pentru ecluze.
- **Echipamente şi instalaţii electrice pentru centrale nucleare-electrice (partea clasică), termoelectrice şi hidroelectrice, staţii electrice şi instalaţii speciale:**
  - instalaţii de comutaţie primară pînă la tensiunea de 4oo kV inclusiv
  - instalaţii de servicii interne în centrale şi staţii electrice
  - instalaţii de comutaţie secundară şi de automatizare.

E 2039

MW

EPE 4—5

REFERÁLVA

Cuprins

ORGANIZAREA PRODUCȚIEI ȘI A MUNCII

EMIL BARBU, VIRGIL PRIOTEASA: **Evoluția Trustului Electromontaj în 40 de ani de activitate** 145—149

MIHAI VALERIU, BARBU ROSOIU: **Utilizarea tehnicii de calcul în activitatea de construcții-montaje energetice a Trustului Electromontaj** 150—153

VIRGIL CHIRICESCU: **Treizeci de ani de experiență în executarea lucrărilor în cabluri de 110 kV** 154—156

FLORIN COMAN: **Montajul stîlpilor de traversare a fluviilor cu linii electrice aeriene de înaltă tensiune** 157—160

DUMITRU ENESCU: **Stația 750/400 kV Isaccea, moment de referință în activitatea Trustului Antrepriză Generală Electromontaj București** 161—165

ENERGETICA ÎN UNITĂȚI ECONOMICE

TEODOR MAGHIAR, IOAN FELEA: **Considerații privind parametrii și bilanțul energetic al instalațiilor de încălzire inductivă prin curenți de medie frecvență** 166—174

SAVA PORNEALĂ: **Transformatoare de căldură cu absorbție sau cu resorbție într-o treaptă** 174—181

CONDUCEREA ȘI AUTOMATICA SISTEMELOR ENERGETICE

ALEXANDRU POEATĂ, VIOLETA ȚĂRANU, RADU SILION, OVIDIU DIACONU, GHEORGHE GEORGESCU, VIRGIL ALEXANDRESCU: **Contribuții la creșterea observabilității și controlabilității calității energiei electrice** 182—189

DAN ZLATANOVICI: **Solicitări magnetice și termice în dintele frontal statoric la turbogeneratoarele de 330 MW** 190—195

CENTRALE TERMOELECTRICE

GHEORGHE CHITIC: **Presiunea din stratul de ulei de la etanșările frontale ale turbogeneratoarelor răcite cu hidrogen** 196—201

VLADIMIR NICU: **Sporirea puterii livrate în Sistemul Energetic Național de o centrală electrică funcționînd pe hidrocarburi** 202—206

REȚELE ELECTRICE

ION CONECINI, GABRIELA BANU, ION CHIUȚĂ: **Supratensiunile de rezonanță care pot apărea la liniile de înaltă tensiune** 207—212

TEODOR SIRETEANU, EMIL VIDEA, PETRE TIȚA, DANIELA CONSTANTINOVICI, LAURENȚIU GOIA, ALEXANDRU ALBRECHT: **Unele aspecte privind măsurarea și analiza vibrațiilor conductoarelor LEA** 212—219

ALIMENTARE CU CĂLDURĂ

RĂDU POPA, AURELIU LECA, NICOLAE NICULESCU, ION UȚĂ: **Model matematic pentru simularea regimurilor hidraulice de funcționare a sistemelor interconectate de termoficare cu apă caldă** 220—227

TERMINOLOGIA ENERGETICĂ

LIVIU GROZA: **Cu privire la terminologia energetică în organizațiile internaționale** 228

ISTORIA ELECTRIFICĂRII

PAUL CARTIANU: **Opera lui Maxwell în electromagnetism la 125 de ani de la prima publicare a concepției sale** 229—231

NOUTĂȚI

INVENȚII — INOVAȚII 232

DE LA CE—ONU PENTRU EUROPA 233

DIN ENERGETICA MONDIALĂ 181, 231, 234—235

CĂRȚI NOI 189

DE PERSONIS 236

energetica

VOLUMUL XXXVII

BUCUREȘTI

APRILIE—MAI 1989

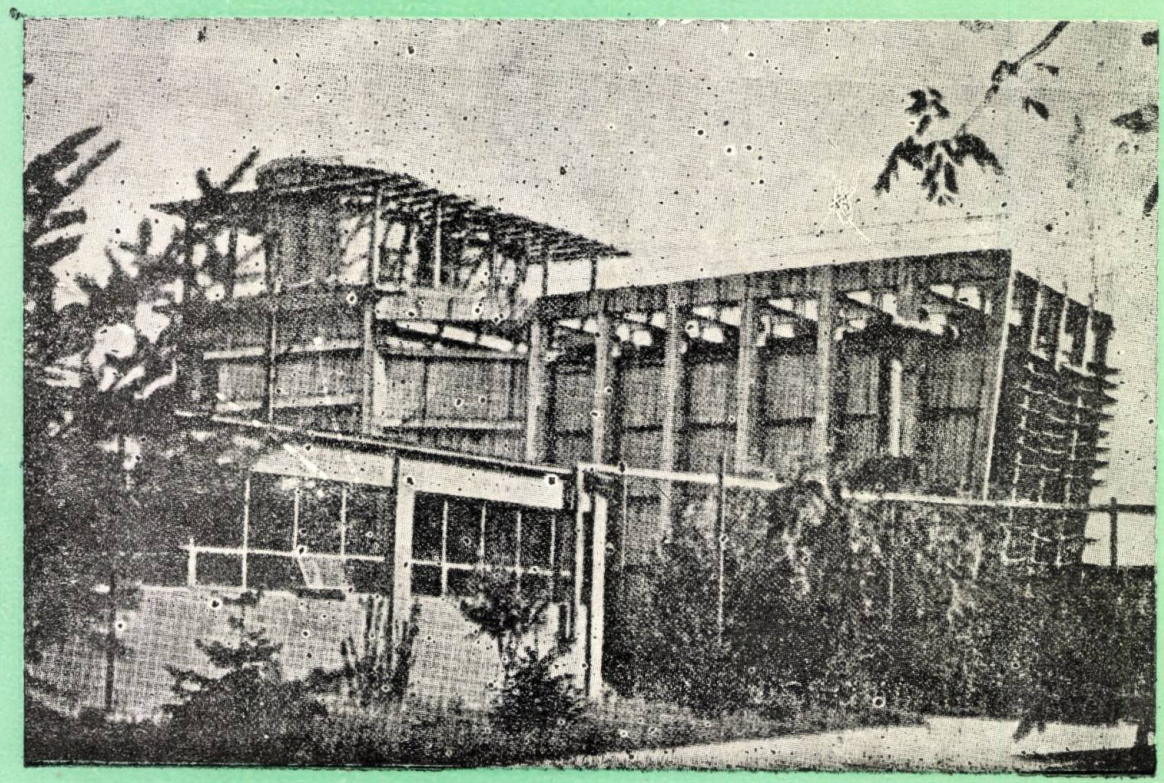
ICEMENERG

INSTITUTUL DE CERCETĂRI
ŞI MODERNIZĂRI ENERGETICE

BUCUREŞTI Sect. III ● B-dul ENERGETICIENILOR, 8 ● Tel. 21.46.30

ICEMENERG, PRIN LABORATORUL DE CERCETARI HIDROENERGETICE realizează cercetări de laborator şi teren elaborînd soluţii pentru :

- proiectarea şi exploatarea instalaţiilor componente ale circuitelor hidro tehnice din CTE, CET şi CNE :
  - •• Stabilirea performanţelor şi optimizarea instalaţiilor componente ale circuitelor hidrotehnice
  - •• Elaborarea metodologiilor de optimizare a exploatării circuitelor hidrotehnice în condiţii de restricţii ;
  - •• Cercetări în domeniul instalaţiilor de răcire (turnuri, lacuri etc.) şi a instalaţiilor de captare, transport şi evacuare a apei.
  - •• Cercetări în domeniul poluării termice şi a utilizării apelor reziduale la menţinerea şenalelor navigabile pe timp de iarnă.
- exploatarea centralelor hidroelectrice şi microhidrocentralelor :
  - •• Stabilirea performanţelor şi optimizarea funcţionării grupurilor şi centralelor hidroelectrice ;
  - •• Sisteme de protecţie a centralelor hidroelectrice în vederea funcţionării cu siguranţă sporită a hidroagregatelor (instalaţii debitmetrice, reglaj funcţie de cădere, protecţii la spargerea conductei forţate) ;
- exploatarea şi gospodărirea apelor în bazinele amenajate energetic şi a folosinţelor energetice :
  - •• Analize de bilanţ şi prognoze hidroenergetice ;
  - •• Studii de gospodărire a apelor şi de implementare a instalaţiilor debitmetrice la folosinţe energetice ;
  - •• Soluţii debitmetrice noi.



ENERGETICA

ORGAN AL MINISTERULUI ENERGIEI ELECTRICE ŞI AL CONSILIULUI NAŢIONAL AL INGINERILOR ŞI TEHNICIENILOR DIN REPUBLICA SOCIALISTĂ ROMÂNIA

APARE SUB ÎNDRUMAREA CONSILIULUI ŞTIINŢIFIC AL INSTITUTULUI CENTRAL DE CERCETĂRI ENERGETICE

Anul 37 Nr. 4 — 5 Aprilie — Mai 1989

OSZÁGOS MŰSZAKI INFORMÁCIÓS KÖZPONT ÉS KÖNYVTÁR 1883

Evoluţia Trustului Electromontaj în 40 de ani de activitate

Ing. EMIL BARBU, ing. VIRGIL PRIOTEASA*

În articol se prezintă începuturile energeticii româneşti şi modul de funcţionare a reţelelor electrice.

Se prezintă înfiinţarea primului şantier Electromontaj cu primele lucrări realizate de acesta. Se arată în mod cronologic structura organizatorică pe care a avut-o Trustul Electromontaj în cei 40 de ani de activitate, evidenţiindu-se succesele obţinute pe diverse etape în mod cronologic.

Sînt marcate etapele cu primele noutăţi în realizarea lucrărilor de linii şi staţii la tensiunile de 110 ; 220 ; 400 şi 750 kV şi punerile acestora în funcţiune.

Sînt subliniate etapele de interconexiune a sistemelor energetice ale R. S. România cu : sistemul interconectat al ţărilor socialiste la tensiunea de 220, 400 şi 750 kV (Republica Populară Bulgaria, Republica Populară Ungaria, Republica Socialistă Federativă Iugoslavia şi Uniunea Republicilor Socialiste Sovietice).

În final se arată volumele fizice de linii electrice aeriene şi staţii executate în ţară şi străinătate în cei 40 de ani de activitate, precum şi realizările obţinute în domeniile : construcţii de baze de producţii proprii şi cămine muncitoreşti, în proiectarea tehnologiilor noi, a proiectării de scule, dispozitive şi utilaje, pregătirea personalului, prelucrarea automată a datelor etc.

Articolul mai scoate în evidenţă preocuparea trustului în vederea preluării în execuţie a unor structuri noi de lucrări cum ar fi : execuţia lucrărilor de construcţie a microhidrocentralelor şi centralelor hidroelectrice de mică putere, montarea centralelor eoliene, prestări servicii pentru cabluri de 110 kV la beneficiarii terţi.

Se subliniază în continuare preocuparea pentru executarea lucrărilor tradiţionale de linii electrice aeriene, subterane şi staţii de transformare pentru evacuarea de puteri din centralele electrice clasice, din centralele electrice nucleare şi din alte centrale electrice de obţinere a energiei din surse neconvenţionale.

This paper presents the beginnings of Romanian energetics, continuing by showing the operating manner of the electric networks.

The first project site and the works carried out by Electromontaj are shown. Its chronological structure during these 40 years of activity is explained, outlining the successes achieved during different stages.

The stages marked by the first novelties in the mounting and erection works at 110, 220, 400 and 750 kV lines and substations and their commissioning are pinpointed.

The stages in the interconnection between the power grid of Romania to the interconnected power grid of the socialist countries (People's Republic of Bulgaria, Hungarian People's Republic, Federative Socialist Republic of Yugoslavia and USSR) at 220, 400 and 750 kV are underlined.

Finally the volume of works carried out in erecting overhead lines and sub-stations, both in the country and abroad, during these 40 years of activity as well as the achievements in fields such as : building own production bases and workers' hostels, designing new technologies, tools, devices, and facilities, personnel training, automatic data processing etc. are shown.

The future concerns of the trust for contracting new works' structures such as microhydropower plants and small power hydropower plants construction works, erection of wind power plants, servicing 110 kV cable layouts for third partners are shown.

The preoccupations for carrying out traditional works at overhead and underground lines and transformer substations for the power disposal of classical power plants, nuclear power plants and from other power plants based on non-conventional sources are outlined.

Începuturile energeticii româneşti

Cu un secol în urmă, adică la 2/14.02.1889, s-a pus în funcţiune la noi în ţară prima linie electrică aeriană la tensiunea de 2 kV curent continuu. Linia electrică pornind dintr-o centrală electrică cu puterea de 2—180 CP amplasată în Bucureşti pe Calea Victoriei, asigura iluminatul grădinii Cişmigiu.

Între anii 1889—1948 pe întreg teritoriul ţării noastre s-a dezvoltat industria, fapt care a reclamat asigurarea energiei electrice necesare. În această perioadă s-au construit centrale electrice hidro, diesel şi termo cu puteri ce variază între 50 şi 3000 kW în funcţie de consumatorii şi de posibilităţile zonale, ajungîndu-se ca în anii 1940—1942 să se monteze generatoare cu motoare diesel de 9000 CP şi turbine cu aburi cu generatoare de 15—25 MW.

* Ing. Emil Barbu, ing. Virgil Prioteasa — Trust Antrepriză Generală Electromontaj Bucureşti

În paralel cu instalațiile de producere a energiei electrice s-a dezvoltat și rețeaua electrică de transport și distribuție la tensiuni de 2; 3; 4; 5; 8; 10; 25; 30 și 60 kV și la frecvențe de 8; 20; 42 și 50 Hz, iar liniile electrice, funcționînd la început izolat, au fost interconectate pe parcurs, formînd mici sisteme electroenergetice.

Toate aceste instalații formau o rețea de distribuție de diverse tensiuni, cu posturi de transformare în funcție de consumatorii care s-au dezvoltat teritorial, corelat cu resursele de materii prime, forța de muncă etc.

În acest mod s-a asigurat alimentarea cu energie electrică a consumatorilor industriali (mică industrie), a iluminatului public, a iluminatului clădirilor administrative și culturale, a iluminatului casnic și a tracțiunii electrice.

Aceste instalații de producere, transport și distribuție au fost realizate de antreprenori și societăți străine, cu specialiști și forță de muncă românească.

Înființarea primului nucleu al Trustului Electromontaj

La un an după actul de naționalizare din 11.VI.1948, adică la 1.VII.1949, s-a înființat „Intreprinderea Industrială de Stat Electromontaj" cu sediul în Constanța, unitate condusă de ing. Vicol Pavel, avînd ca obiectiv realizarea lucrărilor de montaj linii și stații electrice.

Astfel a început, la 29.VI.1949, construirea unei linii electrice aeriene de 6 kV pe stîlpi de lemn, în lungime de circa 20 km, echipați cu conductoare de cupru de 3 × 50 mm², care s-a pus în funcțiune la 23 august 1949.

Același șantier a executat și a predat pentru punere în funcțiune în următorii ani, patru stații de transformare de 35/6 kV și circa 60 km de LEA de 35 kV, realizate pe stîlpi de lemn de tip portal cu conductoare de cupru cu secțiunea de 50 mm².

La 1 septembrie 1949 s-a înființat cel de al doilea șantier electromontaj, cu sediul la Cluj, condus tot de ing. Vicol Pavel. Prima sarcină a acestui șantier a fost alimentarea cu energie electrică a fabricii de sîrmă Cîmpia Turzii printr-o linie electrică ce pornea din Cluj. Linia, în lungime de 35 km, s-a construit pentru tensiunea de 60 kV, cu conductoare de OL—Al 120 mm², pe stîlpi de lemn impregnați, odată cu stația de 60/6 kV cu o putere instalată de 5600 kVA. Construcția acestei linii și a stației a început în septembrie 1949, iar punerea în funcțiune a avut loc în ianuarie 1950.

În anii 1949—1953 aceste șantiere au construit și au predat pentru punere în funcțiune circa 900 km de LEA de tensiuni 6—35—60 kV și un număr de 20 stații electrice de transformare de tensiuni 35/6 kV; 60/6 kV; 60/35 kV.

Dezvoltarea Trustului Electromontaj

Ca urmare a sarcinilor rezultate din planurile anuale de stat și a primului plan cincinal, în care se prevede dezvoltarea economiei naționale, a apărut și necesitatea dezvoltării industriei energiei electrice. Acest fapt a condus la dezvoltarea Intreprinderii Industriale de Stat, care s-a transformat la 28.05.1953 în Trustul Electromontaj. În subordinea acestui trust s-au creat șapte întreprinderi de electromontaj teritoriale (București, Bacău, Cîmpina, Sibiu, Cluj, Brăila, Timișoara), care construiau linii electrice aeriene, linii în cablu, stații electrice și posturi de transformare.

Au fost înființate, de asemenea, în cadrul acestui trust o întreprindere de confecții metalice și prefabricate București, care fabrica stîlpi de lemn, beton și metal și confecții metalice pentru stații electrice, precum și o stație de utilaje de construcții, care să asigure utilajele necesare șantierelor electromontaj.

Cu această structură organizatorică teritorială s-au construit și pus în funcțiune, în perioada anilor 1953—1958, circa 5000 km LEA de diferite tensiuni: 6; 15; 35; 60 și 110 kV (simplu cricuit) construite pe stîlpi de lemn, beton și metal și 350 km pe stîlpi de metal cu două circuite.

Liniile electrice de 6; 15; 35; 60 kV au fost construite pe stîlpi de lemn și beton, liniile de 110 kV de simplu circuit s-au executat pe stîlpi de lemn și beton în formă de „Π" și „A", iar cele de dublu circuit pe stîlpi de metal cu coronamente „hexagon" sau „brad".

Toate tipurile de stîlpi au fost confecționate de Intreprinderea de Confecții Metalice și Prefabricate București.

În anii 1953—1958 au fost construite de unitățile Trustului Electromontaj un număr de circa 200 stații și posturi de transformare de 6; 15; 35; 60 și 110 kV cu putere instalată de circa 1000 MVA.

Astfel s-au executat și pus în funcțiune LEA 110 kV Doicești—Pătroia și stația 110/6 kV Pătroia în 1953, LEA 110 kV Fîntînele—Brașov, LEA 110 kV Fîntînele—Tîrnăveni—Hunedoara, LEA 110 kV Tîrnăveni—Cîmpia Turzii și stațiile aferente prin care s-a interconectat partea de nord cu partea de sud a Ardealului.

În continuare s-au executat și pus în funcțiune LEA 110 kV Paroșeni—Bărbătești, Borzești—Focșani, Doicești—Filipești—București, Gura Barza—Vașcău, Sîngeorgiu—Tîrnăveni, Sadu—Sibiu, Tîrnăveni—Sebeș—Hunedoara, Petroșani—Oțelul Roșu—Reșița, Paroșeni—Tîrgul Jiu—Bărbătești, Borzești—Bacău—Roman—Iași și stațiile aferente prin care s-a realizat

interconexiunea sistemelor energetice Muntenia—Ardeal—Oltenia și Banat. În anul 1959, de ziua Unirii, s-a pus în funcțiune LEA 110 kV Buzău—Focșani și stația Focșani, realizîndu-se astfel interconexiunea între Sistemul Energetic Național și cel al Moldovei.

În cadrul Întreprinderii Industriale de Stat, înființată în 1949, și în cadrul Trustului Electromontaj, reorganizat în 1953, au funcționat ca șantiere independente, și din 1957 grupuri de șantiere, care au avut sarcina de montaj centrale electrice (cazane, generatoare, turbine, grupuri Diesel, epurări chimice, conducte etc.).

La data de 12.III.1958 Trustul Electromontaj s-a contopit cu Trustul Energoconstrucția formînd Trustul de Construcții și Montaje Energetice, care a avut ca sarcină execuția de rețele electrice (LEA și LES cu tensiuni de la 1 kV pînă la 400 kV), stații de transformare, precum și construcția și montajul centralelor electrice de către unitățile care erau subordonate acestui trust, și anume :

— șapte întreprinderi de construcții și montaje energetice, și anume : ICME-1 București, ICME-2 Bacău, ICME-3 Cîmpina, ICME-4 Cluj, ICME-5 Sibiu, ICME-6 Banat, ICMP-7 (Întreprindere de Confecții Metalice și Prefabricate nr. 7) și Întreprinderea de Reparat Utilaje București ;

— trei grupuri de șantiere care au avut sarcina de a executa părțile de construcții ale centralelor electrice, și anume : Grupul de șantiere nr. 1—Paroșeni ; Grupul de șantiere nr.2 — Borzești ; Grupul de șantiere nr. 3—București;

— un grup de montaj centrale electrice cu sediul în București și cu șantiere în țară care au montat echipamentele centralelor electrice (grupuri cu motoare diesel, cazane, turbine, generatoare, cu instalațiile aferente de apă, abur, gospodării cărbune etc.

Această formă organizatorică s-a păstrat pînă la 20.08.1965, cînd s-a revenit la vechea formă organizatorică din perioada 1953—1959, pentru Trustul Electromontaj, luînd ființă în același timp Trustul Energoconstrucția și Trustul Energomontaj.

Maturizarea activității de electromontaj

Între anii 1958 —1965 unitățile electromontaj au executat și predat pentru a fi date în exploatare circa 30000 km de LEA și LES de la 1 kV la 400 kV, circa 400 stații de transformare de 220 ; 110 ; 60 ; 35 ; 15 și 6 kV cu o putere instalată de circa 5500 MVA, precum și circa 5300 posturi de transformare în cabine de zid și puncte de alimentare cu energie electrică, cu o putere instalată de aproximativ 1400 MVA.

Ca evenimente importante de construcții montaj în perioada anilor 1958—1965 menționăm :

— montarea primului cablu de 110 kV în București pentru injecția de putere în stația 110/30/10 kV București—Centru, realizată în 1959 ;

— montarea primului cablu de 110 kV subfluvial, la LEA 110 kV Gura Ialomiței—Medgidia care subtraversează Dunărea la Vadul Oii, în 1960, cînd se realizează și interconexiunea Sistemului Energetic Național cu sistemul din Dobrogea ;

— punerea în funcțiune a primei linii electrice aeriene construită de trust la tensiunea de 220 kV (Stejaru—Fîntînele) și a stațiilor de transformare de 220/100 kV Fîntînele și Stejaru (la 29.07.1963) ;

— construcția primei linii electrice aeriene de Trustul Electromontaj la tensiunea de 400 kV în anii 1962—1963 (Luduș—Lemeșani) pusă în funcțiune la tensiunea de 220 kV la 27.X.1963, realizîndu-se astfel prima legătură între Sistemul Energetic Național și Sistemul Energetic Interconectat al țărilor socialiste. La data de 1.02.1965 s-a trecut la funcționarea ei la 400 kV, precum și a stației aferente de 400/220 kV, 400 MVA Iernut ;

— introducerea la liniile electrice aeriene de 220 kV simplu circuit și dublu circuit a stîlpilor de metal cu coronament „Y" (cap de pisică), „triunghi" și „hexagon", a conductoarelor cu secțiunea de 450 mm².

La liniile de 400 kV simplu circuit au fost montați stîlpi pentru susținere, de tip portal ancorați și de tip „Y", și stîlpii speciali de tip PIN și PIC (portal întindere normal și portal întindere colț). Conductoarele folosite au secțiunea de 450 mm² și sînt montate cîte două pe fază, iar izolatoarele sînt de tip capă-tijă sau baston (langstang).

În plină dezvoltare a economiei naționale, Congresul al IX-lea al P.C.R. stabilește strategia industrializării țării, dezvoltîndu-se în continuare ramuri ale economiei naționale, cum ar fi : chimia, metalurgia, construcția de mașini, agricultura (sisteme de irigații); s-a introdus tracțiunea electrică pe căile ferate, punîndu-se un accent deosebit pe sectorul energetic.

Urmare acestei sarcini a început construcția unor mari centrale electrice : Porțile de Fier, Rovinari, Mintia, Paroșeni, Brăila și altele, de unde trebuia transportată energia electrică în centrele de consum. Astfel, în 20.08.1965, din Trustul de Construcții și Montaje Energetice s-a desprins din nou Trustul Electromontaj, care a construit în perioada 1965—1984 circa : 4000 km de LEA 400 kV simplu circuit și dublu circuit pe stîlpi de metal ; 3000 km de LEA 220 km; 58000 km LEA 110—35—20—6kV simplu circuit și dublu circuit, precum și circa 40 stații de 220 kV cu o putere instalată de aproximativ 20000 MVA, 30 stații de 400 kV cu o putere instalată de 12000 MVA și încă un

număr însemnat de stații de 110 kV, cu o putere instalată ce depășește 40 000 MVA.

Etapa anilor 1965—1984 s-a caracterizat în special prin :

— executarea unor lucrări în zone foarte accidentate (traversarea munților cu linii electrice aeriene de 400 kV și 220 kV la care au fost realizate deschideri între stîlpi de la 400—600 m) ;

— executarea unor lucrări de linii electrice aeriene cu traversarea fluviului Dunărea, unde de asemenea s-au realizat deschideri între stîlpi de circa 1200—1400 m, folosind stîlpi cu înălțimea maximă de 131 m ;

— pentru lucrările din zone foarte accidentate s-a folosit în mare măsură transportul de materiale (ciment, agregate, stîlpi, conductoare) cu helicopterul, funiculare, tractoare șenilate amenajate etc., rezolvîndu-se în acest mod unele probleme dificile la construcția de linii electrice aeriene ;

— montarea primelor linii electrice aeriene cu trei conductoare pe fază de OL—Al cu secțiunea de 300 mm² ;

— la stațiile electrice de 400 kV și 220 kV s-au folosit conductoare de OL—Al cu secțiunea de 973 mm² și 680 mm² pentru executarea barelor generale.

Pentru creșterea productivității muncii s-a trecut la un grad mărit de prefabricate a fundațiilor de LEA, a celulelor de stații electrice, a posturilor de transformare etc. De asemenea, a crescut gradul de mecanizare a lucrărilor prin executarea săpăturilor cu utilaje de mare productivitate, precum și montarea stîlpilor cu macarale de mare capacitate.

Ca urmare a construirii unor linii electrice aeriene de 400 și 220 kV, rezultate din convenții internaționale în perioada anilor 1967—1972, s-au realizat :

— interconexiunea sistemului energetic al R.S.R. cu cel al R. P. Bulgaria prin construcția LEA 220 kV Isalnița—Boicenovți pusă în funcțiune la 3.03.1967 ;

— interconexiunea sistemului energetic al R.S.R. cu cel al R. P. Ungară prin construcția LEA 220 kV Arad—Szeghed realizată la 13.05. 1972 ;

— interconexiunea sistemului energetic al R.S.R. cu cel al R. S. Iugoslavia prin construcția LEA 400 kV Porțile de Fier—Djerdap, la 13.06.1972.

În perioada anilor 1965—1984 s-au construit și au funcționat, mai întîi la tensiunea de 220 kV și apoi la 400 kV, o serie de magistrale electrice, cum ar fi : LEA 400 kV Mintia—Sibiu—Arefu—Slatina ; LEA 400 kV Urechești—Bradu—București ; LEA 400 kV Borzești—Galați ; LEA 400 kV Borzești—Roman—Suceava ; București Sud—Gura Ialomiței—Constanța—Sitorman ; Tulcea—Lacul Sărat—Gura Ialomiței ; LEA 400 kV Sibiu—Brașov—Borzești ; LEA 400 kV București Vest—Brazi—Brașov ; Mintia—Arad—Oradea—Roșiori etc.

De asemenea, au fost echipate stațiile de 400 kV de la : Porțile de Fier, Slatina, Gura Ialomiței, Borzești, Urechești, Brașov, Lacul Sărat, Tulcea, Roșiori.

Ultima formă organizatorică a Trustului Electromontaj

În anul 1984, la 16.03, Trustul Electromontaj capătă actuala formă organizatorică, primind denumirea de Trustul Antrepriză Generală Electromontaj, avînd în subordine cinci antreprize electromontaj organizate teritorial.

Trebuie subliniat faptul că, din punct de vedere tehnic, trustul s-a maturizat an de an, astfel că în perioada anilor 1985—1986 a realizat pentru prima dată o linie electrică aeriană de 750 kV după proiect I.S.P.E., cu materiale din țară, avînd în principal următoarele caracteristici :

— fundații prefabricate pentru stîlpii de susținere, fundații turnate pentru stîlpii de întindere colț și terminali ;

— stîlpii de susținere de tip portal ancorați (PAS) și de susținere simplă (PSS) avînd greutăți ce variază între 16—31 tone și înălțimea între 35 și 53 m ;

— stîlpii de întindere și colț de tip monopicior (un stîlp pe fază) cu greutate între 14—16 tone și înălțimea între 23 și 45 m ;

— conductoare cu secțiunea de 400 mm² cu montaj în pentagon (cinci conductoare pe fază).

LEA 750 kV dintre granița U.R.S.S. și stația 750/400 kV Isaccea a fost pusă în funcțiune la 8.VI.1986, iar la 30.XII.1986 s-a pus în funcțiune, tot la tensiunea de 750 kV, și porțiunea dintre stația Isaccea R.S.R. și stația Dobrudja R.P.B., realizîndu-se interconexiunea la 750 kV între R.S.R., R.P.B. și U.R.S.S.

Începînd cu anul 1984 o parte din antreprizele TAGEM, în special AEM Bacău și AEM Cluj, a început și execuția microhidrocentralelor și centralelor hidroelectrice de mică putere, lucrări care vor deveni în anii următori activitate de bază și la antreprizele Cîmpina și Sibiu.

Astfel, în perioada 1984—1988 au fost puse în funcțiune un număr de 22 MHC și CHEMP, cu o putere instalată de 21,39 MW, avînd grupuri cu puteri cuprinse între 160 kW și 1200 kW.

În prezent se lucrează la 31 obiective cu o putere instalată de 27,5 MW.

Tot în ultimii ani au început lucrările de instalare a primelor aerogeneratoare.

Ca o concluzie sintetică a celor 40 de ani de activitate ai Trustului Antrepriză Generală Electromontaj scoatem în evidență :

a) Execuţia unor volume însemnate de lucrări de construcţii-montaje între anii 1949 şi 1989, după cum se arată mai jos :

— peste 460 000 km de linii electrice aeriene şi subterane cu tensiuni de la 1 kV la 750 kV ;

— peste 4800 km linii electrice aeriene cu tensiunea de 33, 66, 132, 232 şi 400 kV executate în perioada 1975—1988 în Iran, Iraq, Egipt, Iordania, Malaezia şi Liban ;

— peste 800 de staţii de transformare de tensiuni : 110, 220, 400 şi 750 kV însumînd o putere instalată de peste 62 000 MVA.

b) Construirea a 26 baze de producţie proprii în care se realizează producţia industrială de stîlpi de metal, beton, prefabricate pentru LEA, confecţii metalice etc. pentru producţia de construcţii-montaje, precum şi spaţii de cazare pentru muncitori în majoritatea centrelor de greutate a activităţii, numărînd peste 30 de cămine muncitoreşti cu o capacitate de peste 4000 locuri.

c) Pentru susţinerea permanentă a laturii calitative a lucrărilor de montaj, în anul 1959 s-a înfiinţat primul nucleu tehnologic, în prezent secţia de proiectare cu un număr de 150 cadre tehnice inginereşti, care are ca sarcină realizarea tehnologiilor pentru toate genurile de lucrări, realizarea proiectelor tehnologice şi de organizare de şantier, proiectarea utilajelor, sculelor şi dispozitivelor specifice activităţii de construcţii-montaj care se fabrică de către unităţile TAGEM.

Secţia de proiectare asigură detaliile de uzinaj pentru întreaga gamă de stîlpi şi cadre metalice pentru staţii folosite de antreprizele electromontaj în construcţia de LEA şi staţii.

d) Pentru pregătirea personalului, Trustul Electromontaj a construit în anii 1968—1969 două licee energetice, în Sibiu şi Bucureşti. Ele sînt susţinute material de unităţile noastre avînd rolul de a asigura antreprizele TAGEM cu cadre tehnice şi muncitoreşti de înaltă calificare.

e) În vederea creşterii productivităţii muncii, a operativităţii cunoaşterii permanente a bunului mers al întreprinderilor şi în special a părţii economico-financiare a fost înfiinţat, din 1973, primul nucleu de prelucrare automată a datelor. În prezent trustul dispune de un oficiu de calcul mare şi oficii de calcul mici la toate antreprizele. Toate oficiile realizează prelucrarea automată a datelor cu programe de aplicaţie pentru activitatea financiar-contabilă, pregătirea şi lansarea producţiei, gestionarea stocurilor materiale.

f) Ca urmare a preluării unor noi structuri de lucrări privind folosirea intensivă a potenţialului apelor mici şi vîntului, Trustul Antrepriză Generală Electromontaj are îndreptată toată atenţia către :

— elaborarea tehnologiilor noi adaptate la teren pentru construcţia de microhidrocentrale şi centrale electrice de mică putere, pregătind cadrele muncitoreşti şi tehnice în acest sens, precum şi dotarea unităţilor cu utilaje, scule şi dispozitive specifice ;

— elaborarea de studii şi tehnologii pentru montarea şi punerea în funcţiune a aerogeneratoarelor, căutînd soluţii tehnologice eficiente, atît pentru montarea pilonilor de susţinere, cît şi pentru montarea aerogeneratoarelor şi pregătirea dotării cu utilajele necesare.

g) În vederea diversificării activităţii de construcţii-montaj, precum şi a creşterii calitative a lucrărilor de montare a cablurilor electrice de la tensiunea de 1 kV pînă la 110 kV s-a înfiinţat un laborator special, care să aibă profil de :

— cercetări şi experimentări de tehnologii pentru repararea cu materiile indigene a cablurilor de 110 kV din import montate de unităţile TAGEM la diverse combinate industriale care în prezent au un grad de uzură înaintat ;

— efectuarea întreţinerii pentru funcţionarea la parametri normali ai acestor cabluri de 110 kV din combinate industriale pe bază de probe profilactice, astfel ca la anumite etape să se poată interveni operativ pentru evitarea unor avarii ;

— cercetări şi experimentări de tehnologii pentru cablurile de 1—20 kV, în special pozări mecanizate de cabluri, realizarea manşoanelor şi terminalelor cu materiale noi, care să aibă caracteristicile fizice şi chimice corespunzătoare.

Cu experienţa acumulată în cei 40 de ani de activitate în domeniul realizării reţelelor electrice, Trustul Antrepriză Generală Electromontaj este pregătit să facă faţă sarcinilor deosebit de importante ce-i revin în anul 1989 şi următorii, legate în special de evacuarea puterii din C.N.E. Cernavodă şi celelalte C.N.E. programate.

În paralel, se va extinde volumul lucrărilor de microhidrocentrale şi centrale hidroelectrice de mică putere, aerogeneratoare şi alte instalaţii pentru obţinerea energiei electrice din surse neconvenţionale.

(Primit la 3 aprilie 1989, acceptat la 10 aprilie 1989)

Utilizarea tehnicii de calcul în activitatea de construcții-montaje energetice a Trustului Electromontaj

Ing. MIHAI VALERIU, mat. BARBU ROSOIU*

Descriptori : tehnici de calcul, construcții, montaj utilaje

În acivitatea de construcții-montaje energetice a Trustului Electromontaj, informatica s-a impus începînd cu anul 1973, cînd a fost înființat oficiul de calcul.

La început, pe baza unor programe mai simple, datele s-au prelucrat cu ajutorul tehnicii de calcul existente în acel moment, mașini de facturat-contabilizat FC 15, FC 30, FC 32, FC 64, FC 1000 și perfo-verificatoare JUKI și SOEMTRON.

Activitatea de informatică s-a generalizat la trustul și antreprizele electromontaj, realizîndu-se un sistem informatic unitar și omogen.

Începînd cu anul 1984 culegerea și concentrarea datelor s-a realizat cu microcalculatoare de producție românească JUNIOR, TPD, CD 80, iar prelucrarea datelor pe minicalculatoare INDEPENDENT.

Oficiul de calcul a realizat aplicații informatice pentru toate domeniile de activitate ale trustului și antreprizelor electromontaj.

Utilizarea prelucrării automate a datelor, a informaticii, a condus la creșterea eficienței economice a activității de construcții-montaj a trustului.

Data processing became a major activity item in the year 1973, when the Processing Office of the Trust Electromontaj was founded.

At the beginning, simple programs were run and the data were processed by the equipment existing at that time : invoice-book keeping machines FC 15, FC 30, FC 32, FC 64, FC 1000, and punching-verifying machines JUKI and SOEMTRON.

Later, the data processing activity was generalized at the Trust Electromontaj, achieving a unitary and homogeneous data processing system.

Beginning with the year 1984, data collection and concentration was performed by Romanian made microcomputers JUNIOR, TPD, CD 80 and data processing by minicomputers, e.g. INDEPENDENT.

The Processing Office set up data processing applications for all fields of activity of the trust and contractors Electromontaj.

The use of the automatic data processing, of informatics has led to the economic efficiency increase of the erection and mounting activities of the trust Electromontaj.

Activitatea de construcții-montaj a Trustului Electromontaj se desfășoară în condiții deosebite. Antreprizele și brigăzile electromontaj sînt răspîndite pe întreg teritoriul țării, desfășurînd activitatea de producție în zonele de șes, deal și munte, indiferent de anotimp.

Condițiile specifice de efectuare a montajului de linii, stații și posturi de transformare au întîrziat introducerea și utilizarea echipamentelor electronice de calcul.

Odată cu apariția și dezvoltarea informaticii în țara noastră, au apărut și în cadrul Trustului Electromontaj primele încercări de utilizare a prelucrării automate a datelor pentru evidența economico-financiară a activității de construcții-montaje energetice.

Începînd cu anul 1973, a fost înființat în cadrul trustului un oficiu de calcul, cu sarcini de organizare a activității de informatică.

Beneficiind de tehnica de calcul care se fabrica în țara noastră, lucrătorii oficiului de calcul au realizat la început programe pentru activitățile de rutină referitoare la gestiunea și contabilitatea materialelor, calculul retribuțiilor și obținerea situațiilor de plată pentru decontarea lucrărilor.

În perioada de început, trustul și subunitățile sale au fost dotate cu mașini de facturat-contabilizat FC 15, FC 30, FC 32, FC 64, FC 1000 și perfo-verificatoare JUKI și SOEMTRON. Programarea acestor echipamente era dificilă, iar performanțele lor erau limitate. Pentru probleme care necesitau stocarea și prelucrarea unui volum mare de date, aceste echipamente s-au dovedit nesatisfăcătoare. Acest tip de prelucrări s-au efectuat la alte centre de calcul pe calculatoare FELIX, cu ajutorul aplicațiilor informatice realizate de către oficiul de calcul al trustului.

În perioada respectivă au fost realizate aplicațiile informatice care aveau ca scop evidența, urmărirea materialelor și stocurilor și calculul automat al retribuțiilor. Programele componente ale acestor aplicații informatice au fost realizate în limbajul de programare COBOL.

Prin urmare, la început a beneficiat mai mult de avantajele informaticii activitatea financiar-contabilă.

* Ing. Mihai Valeriu, mat. Barbu Rosoiu — Trust Antrepriză Generală Electromontaj, București

În perioada 1975–1977 a fost analizat, însușit și aplicat în activitatea de construcții-montaj pachetul de programe PERT-CORAIL II.

Începînd cu anul 1978, la subunitățile trustului electromontaj au fost înființate stații și oficii mici de calcul, cu sarcini privitoare la implementarea și exploatarea de aplicații informatice.

Oficiul de calcul din trust are sarcini de organizare și coordonare a activității de informatică la trust și subunități. Principalele sale atribuții sînt legate de analiza, proiectarea, programarea, implementarea și exploatarea de aplicații informatice și produse-program.

În vederea realizării unor subsisteme informatice integrabile și unitare a fost realizat proiectul sistemului informatic al trustului. Toate antreprizele de electromontaj exploatează aplicații informatice realizate de oficiul de calcul din trust, ceea ce permite realizarea de centralizări și totalizări la nivelul trustului în ceea ce privește personalul, stocurile de materiale și obiecte de inventar, necesarele de resurse etc.

Obiectivele utilizării tehnicii de calcul electronice în activitatea de construcții-montaj a Trustului Electromontaj au fost următoarele:

— suplinirea eforturilor manuale și a muncii de rutină;

— conducerea operativă a producției, care să asigure importante efecte economice;

— optimizarea și raționalizarea soluțiilor existente, urmărindu-se reducerea consumurilor de materiale și de energie, cu satisfacerea unor cerințe funcționale și de performanță mai ridicată;

— creșterea operativității în informarea conducerii și în luarea deciziilor la toate nivelurile;

— raționalizarea sistemului informațional și reducerea volumului de documente scrise.

Începînd cu anul 1984, trustul și antreprizele electromontaj au fost dotate cu tehnică de calcul românească, astfel: brigăzile cu microcalculatoare JUNIOR; antreprizele și trustul cu microcalculatoare JUNIOR, TPD, CD80 și minicalculatoare INDEPENDENT. Această dotare a impus și a permis reproiectarea și realizarea de produse informatice care să fie exploatate pe minicalculator.

Au fost însușite și se utilizează pentru programare limbajele COBOL, FORTRAN 77, BASIC și C.

Culegerea datelor se realizează pe microcalculatoarele JUNIOR și CD80, iar prelucrarea acestora se face cu minicalculatorul INDEPENDENT sau FELIX. Pentru culegere și validare de date și texte se utilizează produse-program performante: SCVD V3, DATASTAR, WORDSTAR, SCUDD și SIPET.

Sistemul informatic al trustului acoperă cu subsisteme toate domeniile mari de activitate din specificul de construcții-montaje energetice (fig. 1).

Planul de producție al trustului se concretizează în lucrări de construcții-montaje energetice, care se execută pe baza documentației economice și tehnice (devize și proiecte tehnice). Cu ajutorul aplicației DOCEC-2, realizate de Centrul de Organizare și Cibernetică în Construcții, proiectanții (pornind de la indicatoarele și cataloagele de articole deviz), obțin devizele pe listing sau pe benzi magnetice.

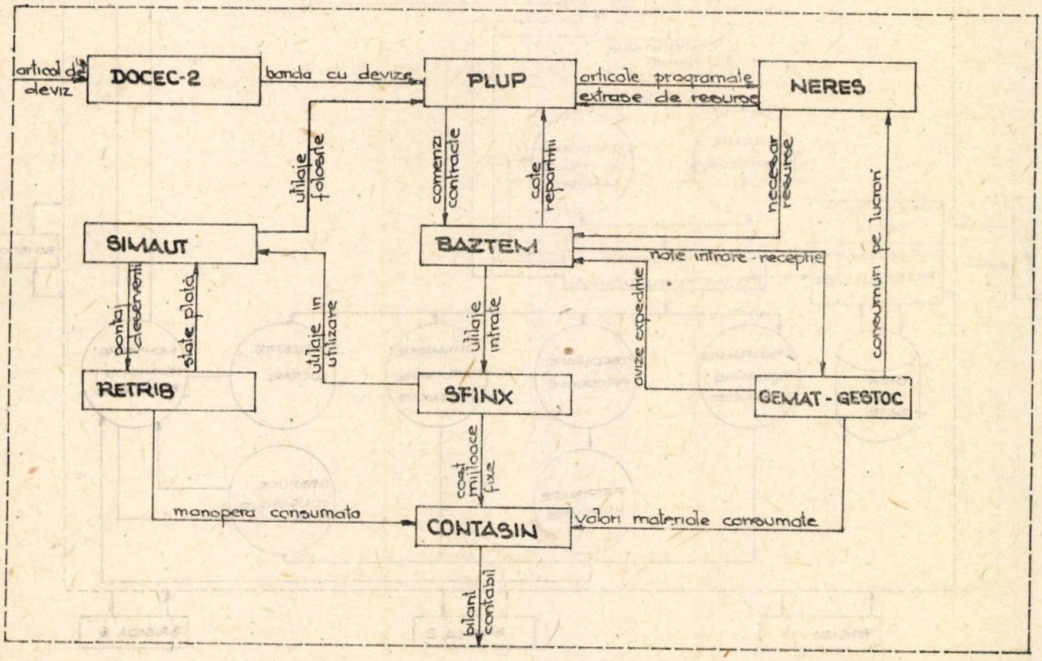


Fig. 1. Structura sistemului informatic al trustului

Din benzile magnetice ale proiectanților se preiau datele referitoare la devizele de executat și sînt prelucrate în vederea programării, lansării și urmăririi operative a producției (PLUP).

Aplicația PLUP este destinată urmăririi principalelor evenimente ce au loc în timpul procesului de producție, contribuind la ridicarea eficienței activității productive, pe baza unei cît mai bune cunoașteri, în orice moment al evoluției reale a procesului condus, a resurselor și stadiului de îndeplinire a sarcinilor de producție. Se prelucrează informații referitoare la producția de bază a antreprizelor, la programarea valorilor de construcții-montaj, a manoperei, a valorilor de organizare de șantier și a sporurilor aferente.

Valorile de construcții-montaj pentru devizele din plan sînt preluate și prelucrate de aplicația NERES, care are ca obiect calculul și obținerea necesarelor de resurse.

Între aplicațiile informatice care sprijină activitatea de producție și cele cu care se realizează evidența și bilanțul financiar-contabil se situează cea care ajută la urmărirea parcului auto și de utilaje tehnologice, a regimului de lucru și pontajului deserventilor (SIMAUT) și cea care urmărește derularea contractelor cu furnizorii, a evidenței materialelor principale pe lucrare, brigadă, antrepriză, trust (în ceea ce privește cotele, necesarele și livrările) BAZTEM.

Evidența materialelor și gestiunea stocurilor, urmărirea obiectelor de inventar în folosință, evidența facturilor de materiale și a celor de prestări servicii se realizează cu aplicația informatică GEMAT-GESTOC.

Calculul retribuțiilor, evidența tuturor categoriilor de venituri și rețineri, evidența personalului pe diferite criterii de clasificare se realizează automat cu ajutorul aplicației informatice RETRIB.

De asemenea, evidența mijloacelor fixe și calculul amortismentului pentru acestea se realizează pe minicalculator cu ajutorul aplicației SFINX.

Datele referitoare la materiale, retribuții, asigurări sociale și mijloace fixe sînt preluate în aplicația CONTASIN, care întocmește notele contabile, fișele șah, balanțele contabile analitice și sintetice și bilanțul contabil.

Aplicațiile informatice au elemente de originalitate și au fost realizate prin eforturile conjugate ale lucrătorilor din compartimentele funcționale și ale specialiștilor din oficiul de calcul al trustului.

Problemele legate de culegerea și centralizarea datelor la trust, probleme datorate distanțelor apreciabile care despart antreprizele de trust vor fi rezolvate în viitorul apropiat prin teletransmisie.

Utilizarea tehnicii de calcul a condus la reorganizarea fluxurilor și a structurilor de producție la nivel de antrepriză (fig. 2).

Utilizarea informaticii în activitatea de construcții-montaje energetice a dus la:

— diminuarea timpului de răspuns între formularea și satisfacerea cererii de informație;

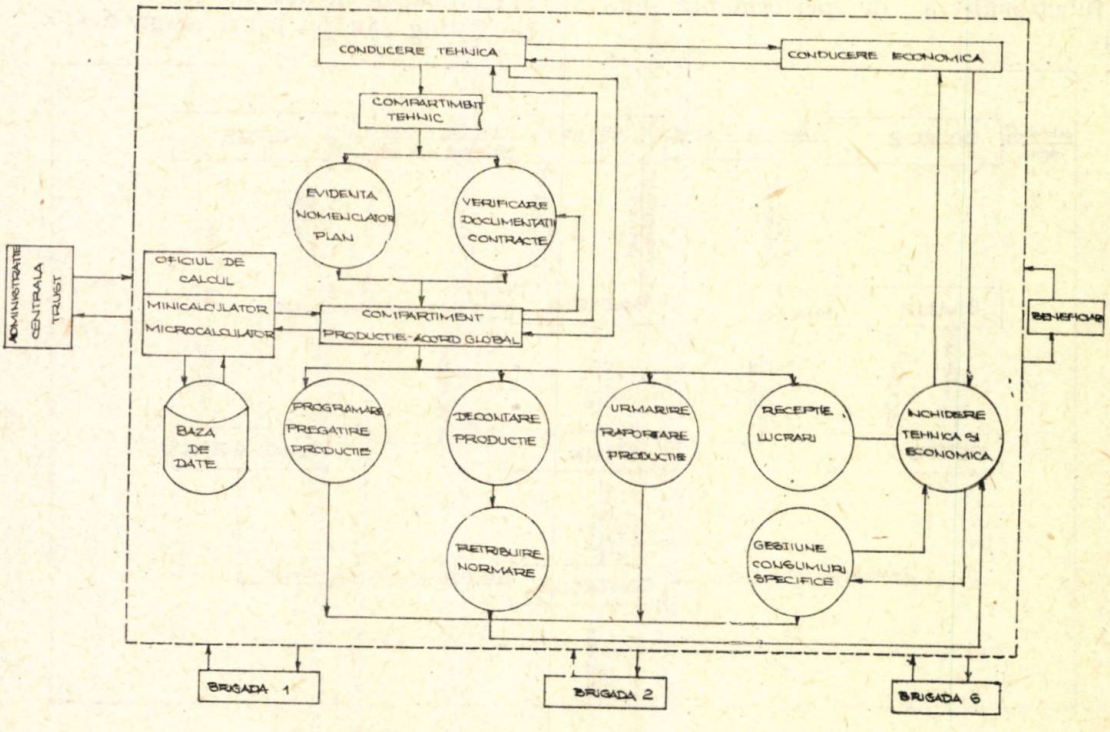


Fig. 2. Structura de producție la antrepriză.

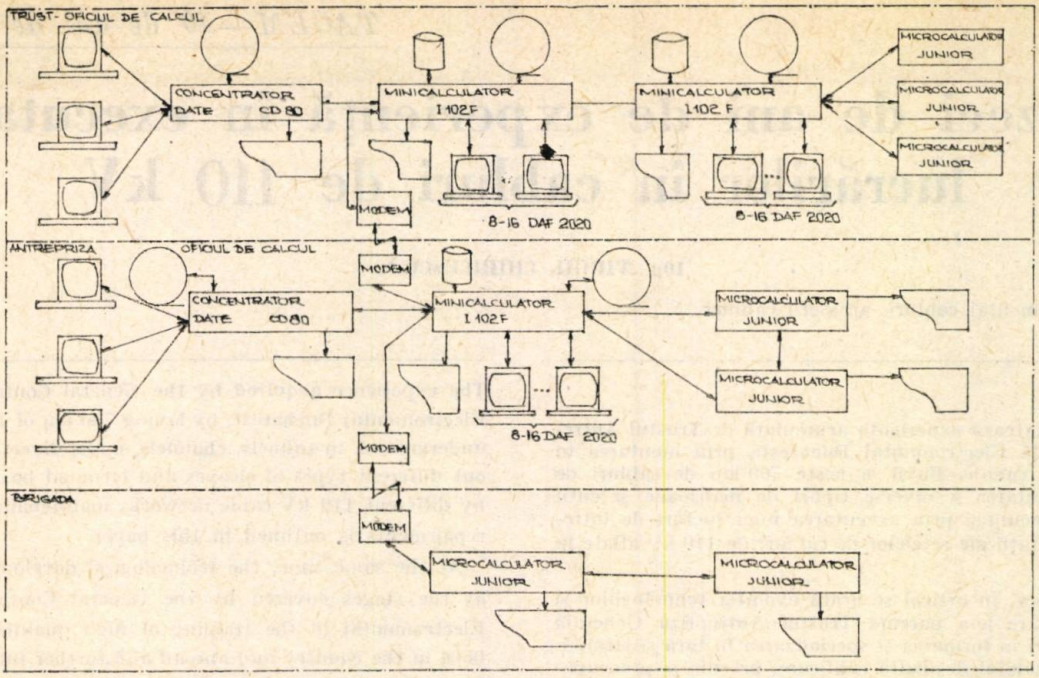


Fig. 3. Structura hardware a sistemului informatic al trustului.

— creşterea disciplinei de producţie;

— sporirea calităţii evidenţelor şi diminuarea riscului de eroare;

— sporirea vitezei de calcul al datelor şi de sintetizare a rezultatelor în vederea fundamentării analizelor economico-financiare şi de producţie;

— obţinerea de sporuri de producţie şi beneficii mai mari.

În perioada următoare se vor perfecţiona sistemele informatice existente, se vor realiza noi produse-program portabile cu posibilităţi multiple de utilizare, se va completa dotarea trustului şi antreprizelor cu tehnică electronică de calcul.

Culegerea şi centralizarea datelor se va realiza printr-o reţea de microcalculatoare şi minicalculatoare (fig. 3).

Minicalculatoarele reprezintă tipurile preferate de procesoare la distanţă, posedînd o serie de caracteristici avantajoase în contextul prelucrării datelor prin reţea, şi anume:

— modularitate, flexibilitate şi adaptabilitate a configuraţiilor hardware şi software;

— siguranţă în funcţionare ridicată prin canale duplex;

— posibilitatea de a suporta o mare varietate de tipuri de terminale şi periferice;

— posibilităţi de comunicaţie diverse pe linii sincrone sau asincrone, viteze de lucru şi structură de cod programabile etc..

Informatica va duce la creşterea generală a eficienţei economice a activităţii trustului şi antreprizelor.

(Primit la 3 aprilie 1989, acceptat la 10 aprilie 1989)

Treizeci de ani de experiență în executarea lucrărilor în cabluri de 110 kV

Ing. VIRGIL CHIRICESCU *

Descriptori : montaj cabluri, accesorii cabluri

Articolul tratează experiența acumulată de Trustul Antrepriză Generală Electromontaj București, prin montarea în sol, tuneluri, canale, fluvii a peste 700 km de cabluri de 110 kV, executarea a diverse tipuri de manșoane și cutii terminale, precum și prin executarea unor lucrări de întreținere și reparații ale rețelelor de cabluri de 110 kV aflate în exploatare.

De asemenea, în articol se arată evoluția tehnologiilor și etapele pe care le-a parcurs Trustul Antrepriză Generală Electromontaj în formarea și specializarea în țară și străinătate a personalului de înaltă calificare, precum și preocuparea pentru viitor prin înființarea unui compartiment special care se ocupă de executarea, întreținerea și repararea rețelelor de cabluri de 110 kV, studii și experimentări, emiterea tehnologiilor adecvate, școlarizarea și selectarea personalului, asigurarea dotărilor necesare.

The experience acquired by the General Contractors Trust Electromontaj Bucharest, by laying 700 km of 110 kV cables underground, in tunnels, channels, under rivers, by carrying out different types of sleaves and terminal boxes as well as by different 110 kV cable networks maintenance works and repairments is outlined in this paper.

At the same time, the technologies' development as well as the stages covered by the General Contractors Trust Electromontaj in the training of high qualified personnel, both in the country and abroad and further future concerns for laying, maintenance and repairment works at 110 kV cables, studies and tests, issuing of suitable technologies, personnel training and selection, providing necessar outfits are presented.

Dezvoltarea economico-socială a României, în conformitate cu planurile cincinale adoptate, s-a accentuat vertiginos, în special după anul 1965. Pe harta țării au apărut noi întreprinderi, noi combinate, noi orașe, noi platforme industriale, iar cele existente s-au modernizat și extins. În această situație producerea, transportul și distribuția energiei electrice au luat proporții din ce în ce mai mari. S-a mărit numărul centralelor termice și hidroelectrice și s-au pus bazele centralelor nuclearoelectrice. Sistemul energetic s-a dezvoltat mult.

Trustul Antrepriză Generală Electromontaj a montat mii de kilometrii de linii electrice aeriene de 110, 220, 400 și 750 kV.

În această conjunctură s-a impus și dezvoltarea liniilor electrice în cablu de 110, 220 și 400 kV.

În anul 1959, specialiștii TAGEM au început, alături de specialiștii străini, montarea primelor linii în cablu de 110 kV cu izolație de hîrtie și presiune de ulei. Începuturile au fost timide și s-au limitat la cîteva zeci de kilometri. Cei mai buni montori TAGEM în cabluri de 20—35 kV au fost afiliați pe lîngă specialiștii străini și au lucrat efectiv cu aceștia. Inginerii tehnologi din TAGEM au inițiat cursuri teoretice și practice cu personalul român, făcînd o bună selecție a acestuia în ceea ce privește activitatea de montaj și întreținere a liniilor de cabluri de 110 kV.

Pînă în anii 1973—1974, cantitatea de cabluri de 110 kV cu izolație de hîrtie și presiune de ulei montată a crescut. Specialiștii străini au solicitat tot mai mult personalul român la montarea cablurilor, la executarea manșoanelor și cutiilor terminale, la montarea rezervoarelor de ulei, la instalarea circuitelor hidraulice, la montarea transpunerii mantalelor cablurilor și a conductoarelor.

În această perioadă s-au instalat peste 300 km cabluri în pămînt, în tuneluri, în canale și subfluviale. S-au montat peste 300 manșoane (de legătură cu și fără barieră de potențial și manșoane de stopare) și peste 150 cutii terminale (de interior, de exterior și imersate), prezența montorilor români fiind permanentă.

Atît în faza de montaj, cît și în exploatare, montorii TAGEM în cabluri de 110 kV au participat la eliminarea diverselor incidente, ca :

— recondiționarea tamburelor de cablu de 110 kV care în timpul transportului au pierdut presiunea de ulei ;

— executarea de manșoane și recondiționarea circuitului hidraulic pe cabluri de 110 kV avariate mecanic ;

— recondiționarea rezistențelor neliniare din cutiile de transpunere a fazelor sau de deconectare ca urmare, în mod special, a umidității ;

* Ing. Virgil Chiricescu — Trust Antrepriză Generală Electromontaj, București.

— tratarea uleiului și presurizarea rezervoarelor cu ulei;

— depistarea pierderilor de ulei (inclusiv prin metoda înghețării cu azot lichid);

— depistarea și repararea defectelor pe mantaua exterioară din p.v.c. sau p.e.

Datorită amplorii pe care au luat-o rețelele în cabluri de 110 kV conducerea TAGEM, încă din anul 1970, a hotărît:

— mărirea numărului de personal specializat în lucrări cu cabluri de 110 kV;

— școlarizarea acestui personal în țară și străinătate;

— dotarea cu toate sculele, dispozitivele și utilajele necesare, din țară și străinătate, pentru a se putea executa tot genul de lucrări la cablurile de 110 kV, inclusiv instalații pentru încercări pînă la 300 kV c.c. și aparataj pentru defectoscopie;

— înființarea unui nucleu pentru proiectarea tehnologiilor la lucrările cu cabluri de 110 kV.

După o instruire teoretică și practică în țară, a fost selectat personalul care a fost trimis în străinătate la specializare.

Mai mulți muncitori, ingineri și tehnicieni au fost școlarizați la diverse firme furnizoare de cabluri și accesorii din Anglia, Italia, R.F.G., Japonia, Finlanda și R.D.G. etc., unde au fost atestați pentru executarea lucrărilor de cabluri de 110 kV.

S-a asigurat dotarea corespunzătoare, din care specificăm:

— degazeificatoare de ulei în două trepte;

— pompe de vid și butelii pentru vid;

— diverse manometre specializate și vacuumetre;

— instalație pentru încercări la 300 kV c.c.;

— diverse punți pentru încercarea și depistarea defectelor mantalei anticorosive din p.v.c. sau p.e.;

— instalații pentru depistarea electrică a defectelor în cablu;

— diverse transformatoare pentru sudarea în mediu de argon a conductoarelor;

— diverse prese hidraulice;

— utilaje pentru pozarea mecanizată a cablurilor;

— diverse tipuri de role (role normale, role de colț, role de tambur);

— aparate de radio emisie-recepție.

S-au elaborat, în detaliu, multiple tehnologii noi, din care enumerăm:

— pozarea cablurilor de 110 kV în pămînt, în tuneluri și subfluviale;

— executarea manșoanelor de legătură cu sau fără transpunerea fazelor caracteristice fiecărui tip și secțiune de cablu;

— executarea manșoanelor de stopare pe tipuri și secțiuni de cablu;

— executarea cutiilor terminale de exterior, de interior și imersate, pe tipuri și secțiuni de cablu;

— executarea manșoanelor și cutiilor terminale pentru cabluri trifazice de 110 kV, pe tipuri și secțiuni de cablu;

— depistarea defectelor în cablu și de manta;

— montarea rezervoarelor de ulei și calcularea presiunilor în circuitul hidraulic;

— folosirea degazeificatoarelor de ulei;

— realizarea probelor la executarea manșoanelor, a cutiilor terminale și probe finale;

— înlăturarea defectelor, mai frecvente, în instalațiile cablurilor de 110 kV.

După anul 1974 lucrările în cablu de 110 kV au fost executate în proporție de peste 95% numai de specialiști români.

În afara lucrărilor noi de montaj sau intervenții pentru eliminarea anumitor avarii pe cablurile în exploatare, specialiștii TAGEM au executat și demontări și remontări de cabluri de 110 kV, demontări și remontări de manșoane și cutii terminale (aceste lucrări au fost necesare ca urmare a sistematizării orașelor și a apariției de noi platforme industriale), elaborîndu-se tehnologiile necesare.

O lucrare deosebit de importantă și dificilă, în același timp, la care specialiștii TAGEM și-au adus contribuția în mod deosebit, a fost repararea cablurilor de 110 kV din albia fluviului Dunărea, cabluri rupte de ancorele diverselor vapoare. Pentru această lucrare s-au elaborat tehnologii speciale pentru ridicarea cablurilor la suprafață, montarea lor pe flotoare, eliminarea porțiunilor cu apă, regenerarea circuitului de ulei, repararea armăturii metalice (cabluri avînd o vechime de peste 15 ani în exploatare), executarea unor manșoane speciale (concepute ca atare), care pe lîngă funcțiile normale trebuiau să reziste la o tracțiune în armătura metalică de aldrey și să asigure etanșeitatea în apă, la 15—25 m adîncime, tehnologii pentru lansarea cablurilor și manșoanelor pe fundul Dunării etc. La această lucrare s-au executat peste 20 manșoane de acest gen, folosind, bineînțeles, scafandri și utilaje navale adecvate.

Începînd cu anul 1981, TAGEM și-a specializat personal în străinătate (Italia, Finlanda) pentru montarea cablurilor de 110 kV cu izolație uscată (P. E. reticulată și E.P.R.) și pentru executarea manșoanelor și cutiilor terminale pe acestea.

S-au elaborat tehnologii pentru montarea cablurilor de 110 kV cu izolație uscată și pentru executarea manșoanelor și cutiilor terminale de exterior și imersate. În diverse orașe s-au montat deja aceste cabluri.

Prin montarea a 700 km de cablu, specialiștii TAGEM au căpătat o mare experiență și un bun renume.

Principalele defecte cu care s-au confruntat specialiștii au fost :

— defecte de manta, atît la cablurile cu izolație de hîrtie și presiune de ulei, cît și la cablurile cu izolație uscată (în faza de montaj numărul acestora este neglijabil, dar după circa 5 ani de exploatare numărul lor a crescut ca urmare a unor lovituri mecanice sau ca urmare a îmbătrînirii mantalei) ;

— cristalizări ale mantalei de plumb apărute după mai mulți ani de funcționare a cablurilor. Specialiștii TAGEM au participat la eliminarea a două asemenea defecte pe cabluri pozate în canale și pe cabluri pozate pe litoral ;

— pierderi ale presiunii de ulei ca urmare a ruperii țevilor dintre rezervorul de ulei și cablu în timpul transportului, sustragerea manometrelor de la rezervoarele de ulei montate pe tamburele cu cablu, cuie bătute în tambure, dar care au străpuns și cablul (în total, la lucrările executate de TAGEM au fost peste 20 de asemenea defecte) ;

— pierderi ale presiunii de ulei ca urmare a ruperii mecanice a cablurilor în timpul funcționării ;

— arderea rezistențelor neliniare.

Trustul nu dispune de cifre sau procente în ceea ce privește numărul acestor defecte, deoarece specialiștii TAGEM intervin numai la solicitarea diverșilor beneficiari ai instalațiilor de cabluri de 110 kV.

Eliminarea acestor defecte a contribuit și mai mult la îmbogățirea experienței montorilor de cabluri.

Substanțial a crescut și productivitatea muncii. Echipele de execuție a manșoanelor și cutiilor terminale de 110 kV, pe cabluri monofazice de 110 kV sînt formate din numai trei montori (față de șase montori în perioada 1959—1970). În medie, executarea unui set de trei manșoane sau cutii terminale se face în 5 zile față de 8—10 zile în perioada anilor 1959—1970. Pozarea a trei cabluri monofazice de 500 m lungime se face într-o zi cu circa 20 muncitori față de 50—60 muncitori cît se foloseau în anii 1959—1970.

Pe lîngă cele arătate anterior trebuie să remarcăm aportul deosebit adus de specialiștii TAGEM în executarea rețelelor de cabluri de 110 kV, din care citățm :

— orașele București, Craiova, Brașov, Cluj, Galați, Slatina, Ploiești, Arad, Oradea, Constanța, Hîrșova ;

— combinatele chimice Năvodari, Brazi, Govora ;

— combinatele metalurgice Reșița, Copșa Mică, Tulcea, Călan, Turnu Severin, Tîrgoviște.

Datorită solicitării mereu crescînde a specialiștilor noștrii TAGEM a înființat un compartiment special pentru lucrări de LES 110 kV, dotat cu personal de înaltă calificare (ingineri, tehnicieni, maiștri și montori), precum și cu sculele și utilajele speciale. În activitatea acestui compartiment intră :

— executarea lucrărilor noi de cabluri de 110 kV cu izolație de hîrtie și presiune de ulei, precum și a celor cu izolație uscată ;

— executarea manșoanelor și cutiilor terminale pe cablurile de 110 kV ;

— depistarea și remedierea defectelor pe cablurile de 110 kV ;

— executarea a diverse probe de laborator, atît la lucrările TAGEM, cît și a altor beneficiari ;

— acordarea asistenței tehnice, la cerere ;

— școlarizarea practică și teoretică a personalului ;

— selectarea personalului, în perspectivă, pentru lucrări de 220 și 400 kV ;

— experimentarea și elaborarea soluțiilor adoptate ;

— elaborarea tehnologiilor de execuție ;

— asigurarea unor filme și diafilme cu lucrări de LES 110 kV.

Prin experiența acumulată, o dotare corespunzătoare, o continuă documentare, printr-o școlarizare în țară și străinătate a personalului și antrenarea permanentă a montorilor în executarea rețelelor de cabluri, specialiștii TAGEM știu și vor ști să răspundă tuturor problemelor ridicate de montajul, întreținerea și repararea liniilor electrice de cabluri de 110 kV.

(Primit la 3 aprilie 1989, aceptat la 10 aprilie 1989)

Montajul stîlpilor de traversare a fluviilor cu linii electrice aeriene de înaltă tensiune

Ing. FLORIN COMAN *

Descriptori : LEA î.t., traversări la mare distanță

Dintre lucrările de montaj al stîlpilor, cele executate la montajul stîlpilor de susținere ai traversărilor de fluviu sînt cele mai complexe, datorită înălțimii la care se lucrează și greutăților de manipulat.

Articolul prezintă o evoluție a tehnologiilor de montaj al stîlpilor de susținere la traversări de fluvii, începînd cu montajul prin basculare, continuînd apoi cu montajul prin clădire cu automacaraua sau cu biga (catargul de montaj).

S-a insistat mai mult asupra montajului unor stîlpi de 130 m la traversarea Dunării cu LEA 400 kV dublu circuit, la care s-a folosit o tehnologie de lucru combinată, respectiv cu automacara PH de 127 t pînă la 80—90 m și apoi cu biga de 30 m și 8000 daN pînă la înălțimea maximă. Folosirea acestei tehnologii a fost impusă de inexistența în dotare a unei automacarale care să ridice la înălțimea de 130 m subansamblurile stîlpului.

Among the tower mounting works, those carried out at the erection of support towers for crossings are the most complex ones due to the working height and the heavy weight to be handled.

The paper presents the mounting technologies development for river crossing support towers beginning with mounting by tilting, continuing with structure mounting by autocrane or overhaul beam (mounting mast).

The erection works of some 130 m towers at the Danube crossing of the 400 kV double circuit overhead line are insisted upon. A combined working technology was applied : with a hydraulic 127 t autocrane up to 80—90 m and then with a 30 m and 8000 daN one be the maximal height. This technology was imposed by the lack of an autocrane for hauling at 130 m the tower subassemblies.

Generalități

În cadrul lucrărilor de montaj linii electrice aeriene de înaltă tensiune, una din operațiile principale este ridicarea stîlpilor și în cadrul acestora o dificultate deosebită, datorită greutății și înălțimii lor, o prezintă montajul stîlpilor de susținere ai traversărilor de fluvii.

Această operație pune în evidență în cel mai înalt grad nu numai competența profesională, ci și curajul celor care o execută, fazele cele mai dificile petrecîndu-se la înălțimi în jur de 100 m.

De asemenea, probleme deosebite au fost puse și în fața acelora care trebuiau să rezolve tehnologia de montaj a acestor stîlpi, deoarece a fost necesar să fie create dispozitive speciale pentru lucru la înălțime, asigurînd atît montajul pînă la cota maximă, cît și munca în depline condiții de securitate. Toate problemele ridicate au fost soluționate de specialiștii TAGEM-București, aceștia montînd de-a lungul anilor circa 20 de traversări peste fluvii, atît în țară, cît și în străinătate, cu linii de 110—750 kV, avînd deschideri în panoul de traversare de pînă la 2500 m și înălțimi ale stîlpilor de susținere de pînă la 140 m. În țară lucrările de traversare au avut loc în special peste fluviul Dunărea, iar dintre lucrările efectuate în străinătate cu deosebit succes menționăm traversarea Nilului (Egipt) cu o linie de 230 kV și traversarea Eufratului (Iraq) cu o linie de 400 kV.

Tehnologii de montaj al stîlpilor de susținere la traversări folosite în cadrul TAGEM

Evoluția tehnologiilor de montaj al stîlpilor de traversare a urmărit în general evoluția tehnologiilor folosite la montajul stîlpilor obișnuiți din linii, respectiv ridicare prin basculare, clădire cu biga (catargul de montaj), clădire cu automacaraua. Pentru stîlpii cu înălțimi mai mari de 100 m a fost necesară aplicarea unei tehnologii combinate, cu biga și automacaraua, această metodă fiind cea mai avantajoasă din punct de vedere economic.

În figura 1 este prezentată ridicarea prin basculare a unui stîlp de 400 kV simplu circuit la traversarea Dunării.

Principiul pentru aplicarea metodei este cel din figura 2. După ridicarea cu circa 1 m de la sol a stîlpului, se menține întreg ansamblul în această poziție o anumită perioadă de timp pentru verificarea tachelajului de ridicare, după care se trece la bascularea propriu-zisă.

Avantajul principal al metodei a constat în aceea că operațiile de asamblare aveau loc practic la sol, obținîndu-se astfel o viteză de lucru sporită. Dezavantajele principale constau din necesitatea proiectării stîlpilor astfel încît să reziste atît solicitărilor suplimentare cerute de operația de basculare, cît și spațiului de lucru foarte mare în comparație cu celelalte metode,

* Ing. Florin Coman — Trustul Antrepriză Generală Electromontaj, București

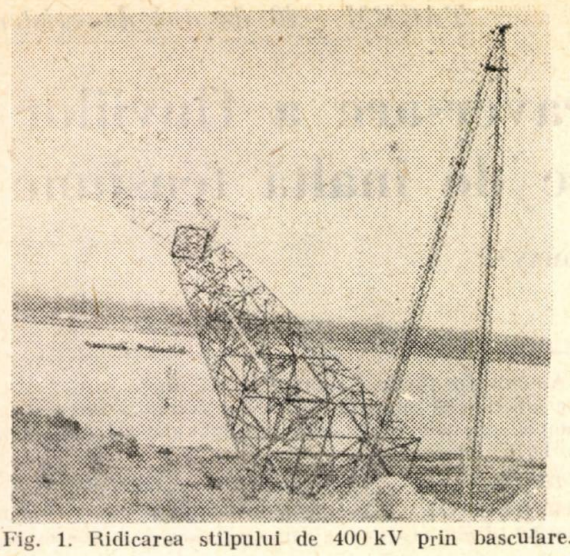


Fig. 1. Ridicarea stîlpului de 400 kV prin basculare.

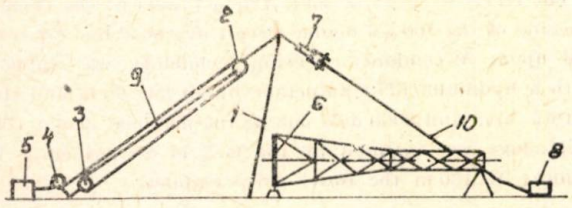


Fig. 2. Schema de basculare a unui stîlp : 1 — capră ; 2 — muflă mobilă ; 3 — muflă fixă ; 4 — rolă deviere ; 5 — tractor cu troliu ; 6 — bară rigidizare ; 7 — rolă egalizare ; 8 — tractor frînare ; 9 — cablu palan ; 10 — cablu ridicare.

mai ales că zona de amplasare a stîlpilor de traversare pe malul fluviilor nu oferă în general spații suficiente. De asemenea, odată cu creșterea înălțimii și greutății stîlpilor, cerută de asigurarea gabaritelor de navigație pe fluviu, tachelajele de ridicare deveneau tot mai grele și mai dificil de manevrat, astfel încît astăzi s-a renunțat complet la această metodă și a fost înlocuită cu metoda clădirii, care oferă avantajul montajului stîlpului în poziție de funcționare, excluzînd astfel eforturile suplimentare datorită basculării. În principal, la ridicarea stîlpilor de traversare se folosesc automacarale de mare capacitate sau biga.

În figura 3 este prezentat un aspect de la montajul unui stîlp de 750 kV înalt de 70 m cu o automacara PH de 127 t cu braț de 100 m.

Principala problemă care s-a pus la utilizarea automacaralelor a fost armonizarea greutății subansamblurilor care trebuiau ridicate cu caracteristicile tehnice ale utilajului, astfel încît numărul de ridicări să fie minim.

O tehnologie interesantă a fost aplicată la montajul unui stîlp portal de susținere înalt de 64 m la traversarea canalului Dunăre —Marea Neagră cu linia electrică aeriană de 750 kV. Stîlpul a fost clădit cu biga de 25 m—2500daN fixată între cele două picioare ale stîlpului și clădindu-le alternativ (fig. 4).

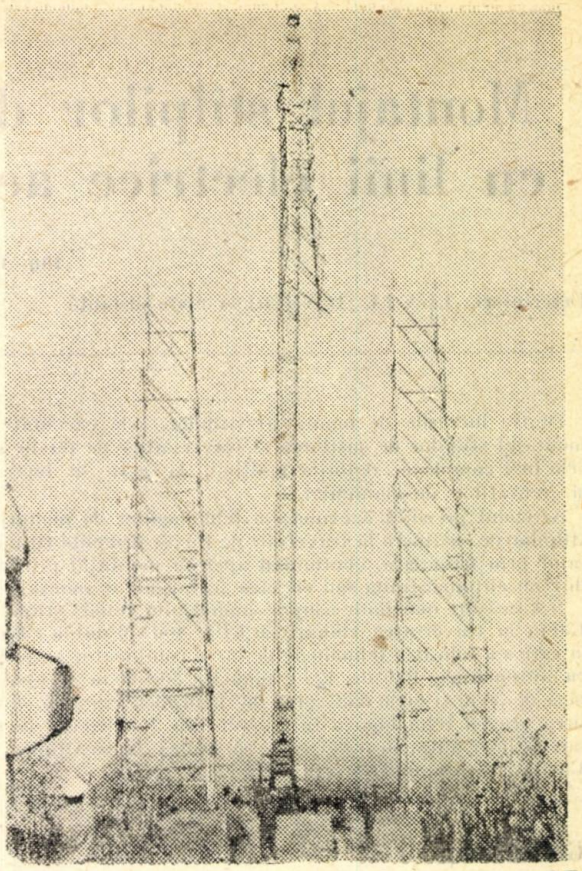


Fig. 3. Ridicarea unui tronson la stîlp de traversare cu LEA 750 kV.

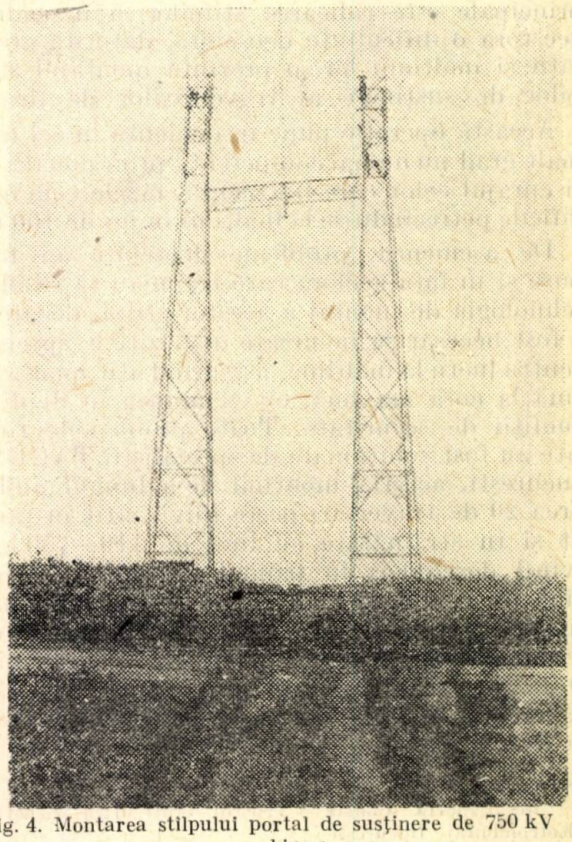


Fig. 4. Montarea stîlpului portal de susținere de 750 kV cu biga.

Traversa a fost proiectată astfel încît să permită ridicarea pe rînd a fețelor și apoi după coborîrea bigii la sol s-au montat restul elementelor traversei.

În anii 1985—1987 s-au executat două traversări peste Dunăre cu linii de 400 kV dublu circuit, la care s-au utilizat conductoare din OL—Al 500/300, astfel încît săgeata de montaj a crescut. Acest fapt, cît și configurația terenului a condus la înălțimi de stîlpi cuprinse între 114—131 m. Din această cauză folosirea numai a automacaralei PH nu era posibilă și a fost nevoie să se folosească un mod de lucru combinat, respectiv cu automacaraua PH pînă la înălțimea de 80—90 m și apoi cu biga pînă la cota maximă.

Dacă utilizarea automacaralei nu a creat probleme deosebite, folosirea bigii a impus luarea unor măsuri speciale, începînd cu proiectarea și realizarea unei bigi speciale, precum și cu proiectarea stîlpului astfel încît să poată fi ridicat cu biga. Biga care s-a realizat este un catarg spațial din patru țevi, înalt de 30 m și capabilă să ridice sarcini pînă la 8000 daN. Ancorarea ei se face atît la partea superioară, cît și la partea inferioară cu cîte patru cabluri care se fixau fiecare la cîte un troliu de 5000 daN. Aceste trolii erau amplasate pe fundații special amenajate.

S-a ales folosirea troliilor manuale deoarece acestea asigură manevrarea mai fină, fără șocuri, la schimbarea pozițiilor de lucru a bigii. Ridicarea subansamblurilor se face cu un troliu de 5000 daN montant pe un tractor. În figura 5 este prezentată ridicarea unui montant al stîlpului cu bigă. Tot timpul subansamblurile erau dirijate de la sol, astfel încît să nu se lovească de construcția metalică a stîlpului, ceea ce ar produce șocuri periculoase în dispozitiv.

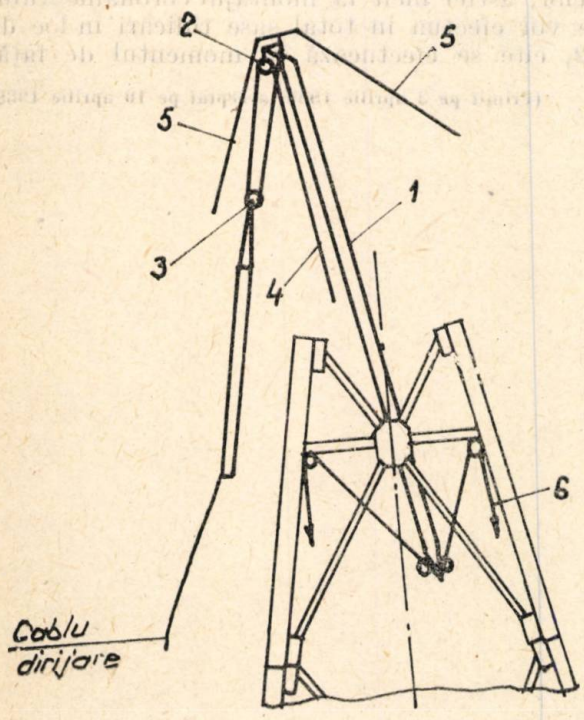


Fig. 5. Ridicarea unui montant cu biga : 1 — bigă 30 m ; 2 — mufă fixă ; 3 — mufă mobilă ; 4 — cablu ridicare ; 5 — ancoră superioară ; 6 — ancoră inferioară.

O problemă deosebită a pus la montajul acestor stîlpi ridicarea coronamentului, a cărui anvergură este de 52 m și greutatea de circa 60 t. Dintre elementele coronamentului, pentru ridicarea vîrfarului și a consolei inferioare s-au folosit tehnologii de lucru speciale. Astfel, la vîrfar, după ce s-au ridicat primele două tronsoane în greutate de 7,5 t și respectiv 3 t pe o parte și alta a stîlpului (fig. 6) cu biga de

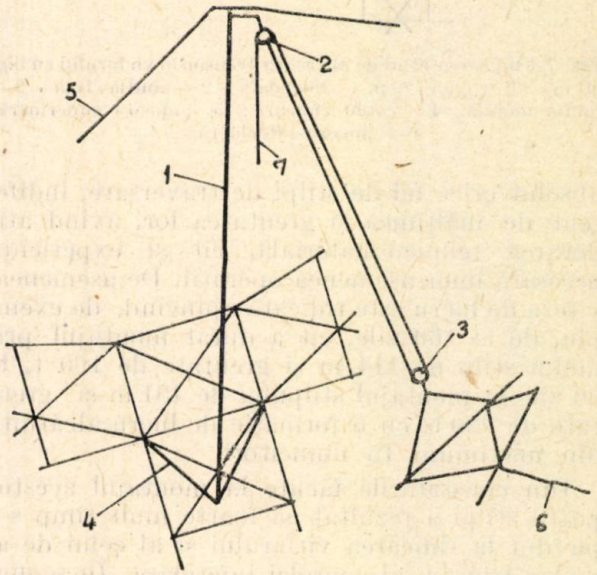


Fig. 6. Ridicarea celui de al doilea tronson al vîrfarului : 1 — bigă 30 m ; 2 — mufă fixă ; 3 — mufă mobilă ; 4 — ancoră inferioară ; 5 — ancoră superioră ; 6 — cablu dirijare ; 7 — cablu ridicare.

30 m, s-a ridicat la înălțime o bigă de 20m — 2500 daN, care s-a ancorat de construcția stîlpului. Cu această bigă s-a montat cel de al treilea tronson al vîrfarului (fig. 7). Operația s-a repetat și la celălalt vîrfar.

Pentru ridicarea consolei inferioare s-a montat mai întîi cu biga de 30 m primul tronson în greutate de 8 t, după care s-a realizat schema din figura 8. Principial schema este alcătuită dintr-un palan, la care mufla fixă se montează pe vîrfar, iar mufla mobilă pe tronsonul consolei care se ridică. Operația s-a executat folosind troliul montat pe tractorul utilizat și la lucrul cu biga de 30 m. După repetarea operației și la cealaltă consolă, montajul stîlpului a fost practic încheiat, ultimele operații fiind doar cele de finisare.

Concluzii

După cum se observă din prezentarea făcută TAGEM—București este în stare să monteze

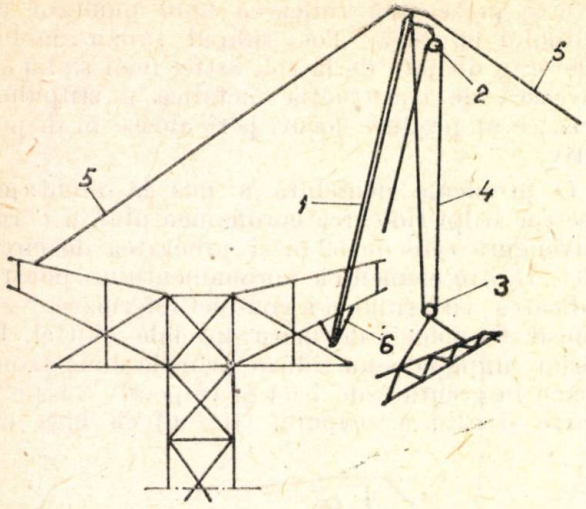


Fig. 7. Ridicarea celui de al treilea tronson al vîrfarului cu biga 20 m: 1 — bigă 20 m — 2500 daN; 2 — mufla fixă; 3 — mufla mobilă; 4 — cablu ridicare; 5 — ancoră superioară; 6 — ancoră inferioară.

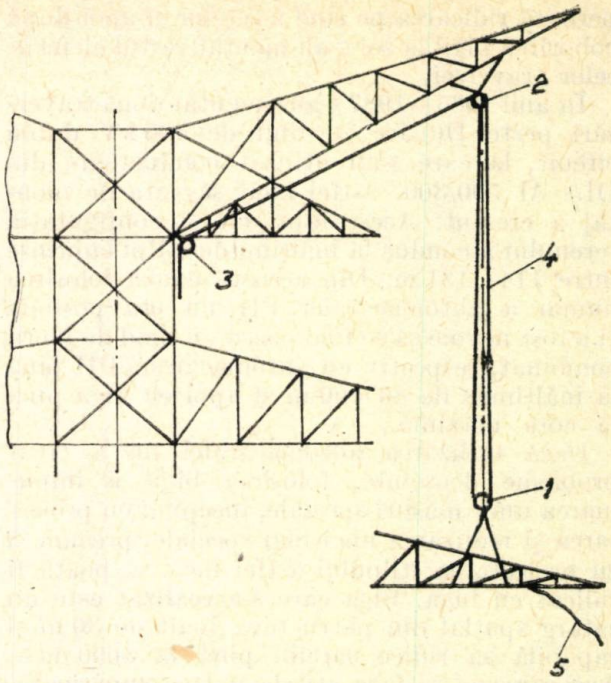


Fig. 8. Ridicarea celui de al doilea tronson al consolei inferioare: 1 — mufla mobilă; 2 — mufla fixă; 3 — rolă deviere; 4 — cablu ridicare; 5 — cablu dirijare.

absolut orice fel de stîlpi de traversare, indiferent de înălțimea și greutatea lor, avînd atît dotarea tehnico-materială, cît și experiența necesară unor asemenea operații. De asemenea, viteza de lucru este ridicată ajungînd, de exemplu, de la 160 zile, cît a durat montajul primului stîlp de 114 m și greutate de 190 t, la 50 zile la montajul stîlpului de 131 m și greutate de 220 t, cu o formație de lucru alcătuită din maximum 15 muncitori.

Din constatările făcute la montajul acestor patru stîlpi a rezultat că foarte mult timp s-a pierdut la ridicarea vîrfarului și al celui de al doilea tronson al consolei inferioare. În scopul eliminării acestor pierderi de timp s-a avansat și acceptat propunerea folosirii unei bigi cu înălțimea de 40 m și sarcină utilă de 15000 daN.

În felul acesta se elimină operațiile de ridicare a bigii suplimentare și a montării palanelor, astfel încît la montajul coronamentului se vor efectua în total șase ridicări în loc de 12, cîte se efectuează în momentul de față.

(Primit pe 3 aprilie 1989, acceptat pe 10 aprilie 1989)

Stația 750/400 kV Isaccea moment de referință în activitatea Trustului Antrepriză Generală Electromontaj București

Ing. DUMITRU ENESCU*

Descriptori : stație de t.t.

Articolul prezintă stația de 750/400 kV Isaccea, evidențiind particularitățile tehnico-științifice din punctul de vedere al amplasării geografice, al schemei monofilare și al caracteristicilor echipamentului și materialelor prevăzute.

Sînt prezentate problemele deosebite ridicate de transportul pieselor grele și agabaritice.

Se trec în revistă tehnologiile de montaj, adoptate cu ocazia echipării stației Isaccea :

— montarea conductorului special PA—500 ;

— montarea întrerupătoarelor și conectoarelor-deconectoarelor de 750 kV ;

— montarea autotransformatoarelor de 750/400 kV și a bobinelor de compensare.

Stația de 750 kV Isaccea a însemnat pentru trustul Electromontaj nu numai ocazia stabilirii unei performanțe de viteză de execuție — punerea în funcțiune a instalațiilor în circa opt luni, ci și a punctului de plecare în promovarea unor tehnologii de montaj evoluate, pentru toate lucrările de montaj al stațiilor electrice.

The paper presents the 750/400 kV substation Isaccea, outlining the technical economic peculiarities connected to the siting, the single wire diagram and the equipment and materials characteristics.

The special problems caused by the transport of heavy and oversized parts are discussed.

The mounting technologies applied at the outfitting of the substation Isaccea are described, i.e. :

— mounting of the special conductor PA 500 ;

— mounting 750 kV breakers and connection-disconnection devices ;

— mounting 750/400 kV autotransformers and compensation coils.

This 750 kV substation Isaccea has meant for the Trust Electromontaj not only an erection speed performace — the equipment commissioning in about eight months — but also the starting point of advanced mounting technologies for all mounting works at substations.

Considerații generale

Printr-o convenție încheiată între guvernele U.R.S.S.—R.S.R.—R.P.B. s-a decis executarea lucrărilor de linii și stații la tensiunea de 750 kV, care să asigure interconectarea sistemelor energetice ale celor trei țări. În cadrul acestei interconexiuni, României i-a revenit sarcina executării liniei de 750 kV pe teritoriul propriu, traversării fluviului Dunărea de către linia de 750 kV, precum și realizării stației de transformare 750/400 kV Isaccea.

Din considerente tehnice și economice, s-a adoptat schema funcțională de tip patrulater (fig. 1), la care racordarea liniilor electrice și a transformatoarelor în colțuri opuse prezintă o fiabilitate ridicată. Lungimea mare a liniei de 750 kV pe teritoriul U.R.S.S. a determinat montarea a două grupuri de bobine de compensare, cu putere nominală de 330 Mvar fiecare.

Echipamentul electric și o parte din materialele utilizate la stația de 750 kV sînt de proveniență sovietică ; dintre acestea trebuie menționate autotransformatoarele monofazice 750/410/15,75 kV, cu puterea nominală de 417 MVA, avînd o construcție robustă, în greutate maximă de 307 tone și bobinele de compensare, cu raport de transformare $750/\sqrt{3}$ kV, în greutate maximă de 95 tone.

Întrerupătoarele și conectoarele-deconectoarele pentru celulele bobinelor de compensare sînt prevăzute cu nouă camere stingere, respectiv 12 camere stingere și cu acționarea și stingerea arcului electric cu aer comprimat. Barele generale și derivațiile în stația de 750 kV sînt executate din conductor tubular de aluminiu, tip PA 500 mm², de construcție lamelară, cu îmbinare în „coadă de rîndunică".

Amplasarea stației electrice de transformare Isaccea permite orientări favorabile pentru culoarele liniilor aeriene, atît pentru LEA 750 kV spre U.R.S.S., cît și spre R.P.B., precum și pentru liniile de 400 kV spre stațiile Tulcea, Smîrdan și Lacul Sărat.

Incinta stației ocupă un teren dreptunghiular cu dimensiunile 530 × 330 m, fiind amenajată pe platforme, în trei trepte.

1. Transportul pieselor grele și agabaritice

Asigurarea transportului autotransformatoarelor de 750/400 kV (7 buc.) și a bobinelor de compensare (8 buc.) din dana portului Galați

* Ing. Dumitru Enescu — Trustul Antrepriză Generală Electromontaj, București.

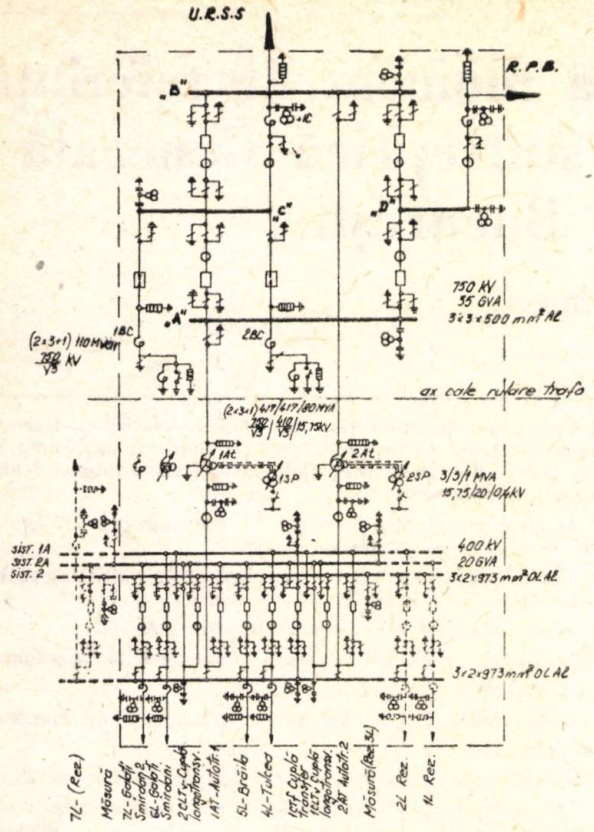


Fig. 1. Schema electrică monofilară a staţiei 750/400/15 kV Isaccea.

pînă în incinta staţiei electrice Isaccea a ridicat probleme deosebit de dificile.

Itinerarul pe teritoriul românesc a fost următorul : în dana portului Galaţi fiecare autotransformator a fost încărcat pe treilerul tip Scheurle cu capacitatea de 315 t, întreaga sarcină a fost apoi preluată de o gabară de 1000 tone cu care s-a deplasat pînă în portul Isaccea. În continuare treilerul, după coborîrea pe sol, a parcurs distanţa din port pînă în staţia electrică pe drumul comunal şi judeţean. Realizarea acestui traseu a impus un volum deosebit de lucrări, după cum urmează :

— lucrări importante de amenajare a vadului şi malului Dunării, care să permită urcarea şi coborîrea treilerului de pe gabară, atît în Galaţi, cît şi în Isaccea ;

— amenajarea gabarei, respectiv a sistemului de lestare şi a porţilor de acces, precum şi întărirea punţii pentru a suporta sarcina concentrată a autotransformatorului.

De asemenea, s-au proiectat şi executat patru piese metalice de circa 2 tone/buc., care să permită preluarea sarcinii de către treiler, deoarece concepţia constructivă a autotransformatorului de fabricaţie sovietică este diferită de cea românească.

2. Organizarea activităţii de realizare a lucrărilor, etapele de punere în funcţiune

Antreprenor general al activităţilor de construcţii-montaj a fost Trustul Antrepriză Generală Electromontaj Bucureşti. Partea de construcţii a fost executată de Trustul Energoconstrucţia. Lucrările de probe şi verificări PRAM s-au realizat de către sectoarele specializate din cadrul Trustului Antrepriză Generală Electromontaj în colaborare cu Institutul de Cercetări şi Modernizări Energetice.

Proiectantul general, Institutul de Studii şi Proiectări Energetice, a început proiectarea în trimestrul IV 1983. Partea de construcţie, începută în luna iunie 1984, s-a executat în mare parte conform unor grafice coordonatoare, în paralel cu echiparea electromecanică a staţiei. Astfel, echiparea staţiei de 400 kV a început în trim. II 1985, iar a staţiei de 750kV în septembrie 1985. Volumul foarte mare al lucrărilor de echipare a staţiei, complexitatea tehnică datorată în special multitudinii problemelor de montaj, de dotări tehnologice şi de verificări, neîntîlnite pînă în prezent de către personalul din cadrul TAGEM, a necesitat o preocupare deosebită, cu atît mai mult cu cît s-au impus termene foarte scurte de punere în funcţiune. Datorită preocupării deosebite a personalului de specialitate din cadrul TAGEM pentru cunoaşterea şi adaptarea la specificul tehnologic al staţiei de 750 kV s-a reuşit să se asimileze noile tehnologii de lucru şi să se doteze lucrarea cu o mare diversitate de echipamente tehnologice, aparate de măsură şi control, dispozitive speciale şi scule necesare executării tuturor operaţiilor de montaj.

Printr-o perfectă organizare, care să permită concentrarea forţei de muncă şi totodată specializarea acesteia în vederea executării simultane a tuturor operaţiilor impuse de echiparea unei staţii electrice de transformare de 750 kV, s-a reuşit ca în mai puţin de 8 luni, în care s-a parcurs sezonul de iarnă, să se realizeze punerea în funcţiune etapizată a staţiei de 750 kV (la tensiunea de furnizare de 330 kV) în luna aprilie 1986.

Punerea în funcţiune în schemă completă la tensiunea de 750 kV s-a realizat la data de 22 august 1986.

Este demn de menţionat că realizarea staţiei de 750 kV Isaccea în aproximativ 8 luni constituie un record de viteză, raportată la complexitatea şi volumul lucrărilor.

3. Tehnologii noi aplicate la staţia de 750 kV

Adoptarea unor tehnologii de montaj, însuşirea şi aplicarea acestora au avut la bază următoarele considerente :

— nivelul ridicat al tensiunii de regim al echipamentului, care impune preocupări deo-

sebite în respectarea parametrilor calitativi şi funcţionali;

— echipamentele şi materialele import U.R.S.S., prezintă caracteristici constructive deosebite faţă de cele cunoscute pînă în prezent.

3.1. Tehnologia de montare a conductorului PA 500

Caracteristicile conductorului tubular din aluminiu PA 500 impun următoarele măsuri ce trebuie luate cu ocazia montării acestuia:

— premăsurarea şi tăierea la sol a tuturor bucăţilor de conductor care urmează să formeze elemente ale barelor generale sau ale derivaţiilor. Derularea se execută pe covoare de cauciuc sau pe un sistem de „construcţie-suport" pentru suspendarea permanentă a conductorului, ferindu-l de loviri, zgîrieri sau murdărie;

— înnădirea conductorului se face prin presare pe un miez metalic introdus în interiorul conductorului PA 500. S-au utilizat prese din import U.R.S.S. sau de fabricaţie românească. Presarea s-a făcut la presiuni de 100 tf. Specialiştii din cadrul TAGEM, pentru operativitate, au îmbunătăţit tehnologia sovietică de montaj al barelor staţiei, renunţîndu-se la coborîrea barelor pentru presarea derivaţiilor, în urma premăsurării acestora. Toate presările s-au executat în coşul unui telescop, prin ridicarea capului de presare special adaptat.

Organizarea activităţii de montaj coroborată cu adaptarea unor inovaţii tehnologice au permis scurtarea perioadei de lucru pentru barele staţiei de 750 kV la circa 40 zile, în condiţiile realizării unor lucrări de foarte bună calitate.

3.2. Montarea întrerupătoarelor şi conectoarelor-deconectoarelor de 750 kV

Aceste echipamente sînt acţionate, aşa cum s-a precizat deja, cu ajutorul unui flux de aer la presiunea de 6 kgf/cm^2 provenit din instalaţia de distribuţie generală a staţiei.

Tehnologia de montaj are următoarele etape distincte:

— pregătirea profilactică a elementelor componente — filtre, rezervoare, module, sistemul de mecanisme, aparatele de măsură — prin suflare cu aer sub presiune, ştergerea cu diverşi solvenţi, verificarea etanşeităţilor. Operaţiile se fac la sol, într-un spaţiu special amenajat;

— montarea camerelor de stingere pe fiecare pol, reglarea mecanismelor în vederea obţinerii timpilor de acţionare şi a simultaneităţii;

— uscarea sistemului de înaltă şi joasă presiune cu un flux de aer.

Cu această ocazie precizăm că instalaţia de producere a aerului a fost prevăzută cu filtre, cu material higroscopic (zeolit) pentru a se elimina umiditatea. Acest parametru calitativ, esenţial pentru funcţionarea întrerupătoarelor, este permanent ţinut sub control.

3.3. Montarea autotransformatoarelor de 750/400 kV şi bobinelor de compensare

Tehnologia de montaj întocmită în vederea pregătirii punerii în funcţiune a autotransformatoarelor şi transformatoarelor de înaltă tensiune şi de mare putere, de producţie proprie, prevede măsuri pentru păstrarea calităţii uleiului şi izolaţiei înfăşurărilor prin eliminarea umidităţii.

Furnizorii sovietici ai autotransformatoarelor şi bobinelor de compensare, datorită caracteristicilor constructive şi funcţionale ale acestor echipamente, au impus o severă tehnologie profilactică pentru eliminarea conţinutului de umiditate, de gaze şi de particule în suspensie din uleiul izolant şi din înfăşurări, precum şi analiza chimică a uleiului de transformator.

Pentru obţinerea parametrilor calitativi impuşi, TAGEM a luat măsuri pentru dotarea cu echipamentele recomandate de tehnologia furnizorilor, precum şi pentru procurarea sau asimilarea unei multitudini de materiale, scule şi dispozitive. De asemenea, a fost întocmită tehnologia de echipare, cu un grad de complexitate mărit faţă de tehnologia utilizată pînă în prezent.

În continuare se va prezenta foarte succint tehnologia de echipare a autotransformatoarelor, respectiv a bobinelor de compensare, organizarea acestei activităţi pe platforme de montaj, precum şi principalele echipamente care intervin în procesul de montaj.

În figura 2 este prezentată amplasarea acestor echipamente, cu precizarea fluxurilor tehnologice la care participă.

Prezentarea etapelor de montaj, în conformitate cu succesiunea acestora, implică precizarea că autotransformatorul este adus la locul de montaj fără ulei, în azot, sub presiunea necesară pentru protejarea înfăşurărilor. Se consideră că echiparea începe imediat după sosirea autotrasformatoarelor în şantier, evitîndu-se lucrările de conservare temporară a echipamentului.

Succesiunea etapelor de montaj este următoarea:

1 — scoaterea autotransformatoarelor din starea de suprapresiune de azot, crearea de vid cu valoarea de 1,5 mm Hg şi menţinerea în această situaţie în timpul unei perioade de 48 de ore;

2 — pregătirea uleiului în cadrul gospodăriei de ulei, pentru realizarea parametrilor calitativi;

3 — introducerea uleiului în cuva autotransformatorului pentru a acoperi înfăşurările;

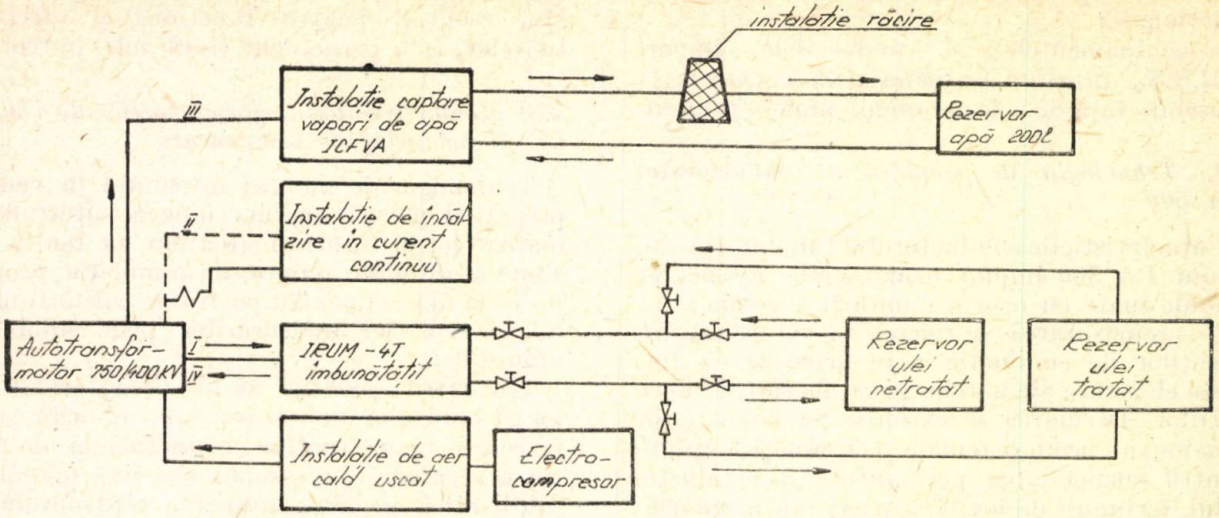


Fig. 2. Echipamentele tehnologice, amplasarea conform fluxurilor de lucru.

4 — montarea bornelor (trecerilor izolante) în condiții de dezermetizare și introducere permanentă a aerului uscat, pentru a forma un strat protector deasupra uleiului;

5 — montarea anexelor aferente sistemului de răcire, aerisire, a aparatajului de măsură, control și semnalizare, a conservatorului etc.;

6 — încălzirea autotransformatorului cu instalația de încălzire în curent continuu și, simultan, recircularea uleiului;

7 — scoaterea uleiului din cuva autotransformatorului și introducerea în rezervoarele gospodăriei de ulei. Rezervoarele trebuie să asigure aceleeași condiții de păstrare a calității uleiului ca și în cuva autotransformatorului. Tratarea uleiului cu instalația de regenerare de tip IRUM-4 Tm îmbunătățită sau cu instalația Micafill este necesară, deoarece uleiul și-a pierdut calitățile fizice în contact cu înfășurarea și cuva autotransformatorului;

8 — tratarea izolației înfășurărilor pentru eliminarea umidității, cu ajutorul instalației de captare prin frig și vid (ICFVA);

9 — umplerea cu ulei a cuvei autotransformatorului în condiții de păstrare a nivelului de vid stabilit;

10 — încălzirea autotransformatorului cu instalația de curent continuu, cu recircularea uleiului. Operația urmărește să elimine umiditatea și totodată să permită efectuarea măsurătorilor PRAM la treptele de temperatură prestabilite, în vederea punerii în funcțiune.

3.4. Instalațiile prevăzute în tehnologia de echipare

a) Instalația de regenerare a uleiului

Operațiile de regenerare a uleiului izolant s-au realizat cu echipament specializat de tip Micafill, precum și cu instalația IRUM 4 Tm la care s-au adus îmbunătățiri în șantier. Instalația astfel îmbunătățită, ca de altfel și instalația Micafill, poate realiza filtrarea, uscarea și degazeificarea uleiului la nivelul calitativ impus de tehnologia echipamentelor de 750 kV.

Tratarea uleiului în cadrul gospodăriei de ulei sau direct în cuva autotransformatorului sau a bobinelor de compensare asigură următorii parametrii calitativi, deosebit de severi:

— tensiunea de străpungere 280 kV/cm;
— conținutul de gaze sub 0,1%;
— conținutul de umiditate sub 0,001%;
— lipsă impurități mecanice.

b) Instalația de încălzire în curent continuu

Încălzirea autotransformatorului se face în scopul eliminării umidității atît din înfășurări, cît și din uleiul electroizolant.

Înainte de experimentul de la stația Isaccea, autotransformatoarele fie că nu erau încălzite pentru probe, fie că, în situația în care încălzirea era tehnic obligatorie, aceasta se realiza prin efectul termic al curentului electric ce trece printr-o rezistență (cablu izolat cu secțiunea de 300 mm^2).

Operația se realizează cu un redresor tip RCPT—1250A—800 Vc.c. cu tiristoare, fabricație „Electrotehnica" București.

Temperatura înfășurărilor se calculează în funcție de variația parametrilor U și I citiți pe aparatele de control, fiind urmărită comparativ și pe termometrele montate pe cuva autotransformatoarelor.

Viteza de creștere a temperaturii nu trebuie să depășească 3°C/h.

Rezultatele foarte bune obținute cu această instalație justifică adaptarea unui echipament proiectat pentru alte operații.

c. Instalația de captare prin frig și vid a vaporilor de apă (ICFVA)

Această instalație a fost executată de Fabrica de Aparataj Nuclear din cadrul IFIN Măgurele. Concepția echipamentului aparține specialiștilor din cadrul Institutului de Proiectări din cadrul IFIN Măgurele, TAGEM și ICEMENERG.

Instalația este destinată uscării (prin completarea instalației cu un etaj de încălzire) sau preuscării izolației solide (înfășurării) a autotransformatoarelor sau a bobinelor de compensare.

Instalația racordată la cuva autotransformatorului asigură, cu ajutorul pompelor de vid, evacuarea vaporilor de apă din izolația solidă a înfășurărilor. Vaporii de apă sînt reținuți în captatoare, umplute în prealabil cu bioxid de carbon în stare solidă (gheață uscată) și acetonă, unde se dezvoltă o temperatură de —70°C (captare prin înghețare). În circuitul de vidare se introduce un recipient pentru probe martor de izolație, care confirmă creșterea nivelului de izolație, ca urmare a aplicării procentului de preuscare.

Elementele componente principale ale instalației:

— două pompe de vid, din care una pentru vid preliminar cu debit 400 m³/h, cealaltă pentru vid înaintat cu debit 900 m³/h;

— două captatoare de vapori;

— dulapul de comandă și măsură a parametrilor funcționali;

— robinete și conducte verificate la vid.

Eficiența procedeului de „preuscare" a izolației înfășurărilor este arătată de cantitatea de apă extrasă efectiv, respectiv 25—40 kg. Se consideră operația terminată cînd în ultimele 24 ore condensul extras nu depășește 0,5 l.

d) Instalația de preparare a aerului uscat

Această instalație, care constituie de asemenea o premieră în tehnica energetică românească, a fost proiectată și executată de către TAGEM. Instalația realizează purificarea, încălzirea și uscarea aerului care urmează să se introducă în cuva autotransformatoarelor în perioada montajului, respectiv dezermetizării acestora și pregătirii punerii în funcțiune, în scopul păstrării izolației în stare corespunzătoare.

Instalația se alimentează cu aer sub presiune, de la un electrocompresor, aerul este filtrat în recipiente umplute cu material higroscopic (zeolit). În prealabil zeolitul este încălzit la temperatura de 320°C pentru uscarea acestuia.

Caracteristicile aerului uscat, proprii pentru introducere în cuva autotransformatorului sînt:

— debit maxim 0,05 m³/s;

— temperatura maximă 100°C;

— punct de rouă de la — 50°C la — 70°C.

4. Aplicarea tehnologiilor experimentate la stația 750 kV Isaccea

Experiența cîștigată de specialiștii din cadrul TAGEM în promovarea tehnologiei de echipare a autotransformatoarelor și-a găsit aplicarea la lucrările de reparații capitale ale unor unități de transformare 200 MVA — 220/110 kV și la echiparea autotransformatorului 400 MVA — 400/220 kV la stațiile electrice de 400 kV Roșiori și Slatina și cu ocazia altor lucrări similare.

De asemenea, trebuie menționat că specialiștii din cadrul TAGEM au montat și la stația de 750 kV/400 kV Varna autotransformatoarele de 750/400 kV livrate de U.R.S.S., la cererea părții bulgare, utilizînd echipamentul tehnologic menționat mai sus. Contractarea serviciilor TAGEM a avut loc în urma rezultatelor foarte bune obținute la Isaccea și constatate direct de partea bulgară, cît și recomandărilor firmei furnizoare sovietice.

Ulterior s-au adoptat unele măsuri de simplificare a prevederilor de lucru cunoscute, precum utilizarea azotului în stare lichidă, în loc de bioxid de carbon solid, procedeu mai ușor de realizat, sau alimentarea redresoarelor la tensiunea de 380 V, renunțîndu-se la alimentarea la tensiunea de 20 kV prin intermediul transformatorului modificat 20/0,8 kV.

Ridicarea nivelului calitativ al echipării și al condițiilor în care se realizează probele de profilaxie, datorită tehnologiilor aplicate în prezent de TAGEM, asigură o mai bună funcționare a autotransformatoarelor și transformatoarelor din sistemul energetic național.

(Prmit la 3 aprilie 1989, acceptat la 10 aprilie 1989)

Consideraţii privind parametrii şi bilanţul energetic al instalaţiilor de încălzire inductivă prin curenţi de medie frecvenţă

Conf. dr. ing. TEODOR MAGHIAR, ş.l. dr. ing. IOAN FELEA *

Descriptori: încălzire inductivă, parametri, bilanţ energetic

În prima parte a lucrării sînt evidenţiate expresiile inductivităţilor proprii şi mutuale, cu referire la ansamblul inductor-piesă din cadrul instalaţiilor de încălzire inductivă, pentru cazul general al pieselor care cuprind mai multe componente. Se prezintă modul de obţinere a expresiilor menţionate pentru piesa formată din trei componente şi utilitatea parametrilor respectivi.

Partea a doua elucidează modul de întocmire a bilanţului energetic al instalaţiilor echipate cu invertoare statice. Se justifică necesitatea efectuării bilanţului pe bază de mărimi termice (globale) şi se prezintă relaţiile de calcul al pierderilor de putere în componentele instalaţiei, funcţie de tipul transmisiei termice. Aplicaţia înseriată în lucrare permite concretizarea unor aspecte teoretice şi desprinderea unor concluzii practice utile.

The expressions for the self and mutual inductivities, with reference to the assembly inductor-melting charge pertaining to inductive heating facilities for the general case of the melting charge consisting of three components are outlined in the first part of the paper. The methods to determine the mentioned expressions for the three components charge and the utility of those parameters are presented.

In the second part, the methods to set up the energy balance of static invertors equipped installations are clarified. The need to carry out the balance on the basis of thermal (global) quantities is justified and the computation expressions of the components' power losses depending on the thermal transmission type are enumerated. The practical application presented further enables the checking of the theoretical items of the drawing of useful practical conclusions.

Introducere

Realizarea industrială, la noi în ţară, a instalaţiilor de încălzire inductivă prin curenţi de medie frecvenţă echipate cu invertoare statice, este de dată relativ recentă [6]. Avînd în vedere avantajele pe care le oferă [1, 4, 6], comparativ cu celelalte procedee de încălzire a metalelor, se prevede extinderea masivă şi rapidă a instalaţiilor respective în domeniul economiei naţionale.

Schema bloc a unei astfel de instalaţii se reprezintă în figura 1.

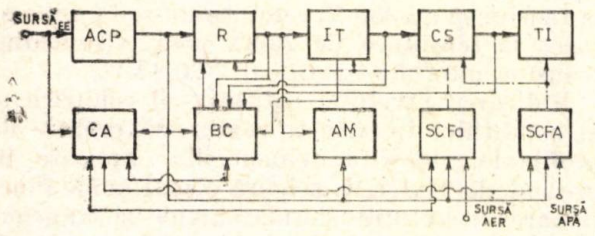


Fig. 1. Schema bloc a instalaţiei de încălzire inductivă cu invertor static: ACP — aparatajul de comutaţie şi protecţie prin care se execută racordul la reţea; R — redresor comandat cu bobină-filtru pe circuitul de alimentare şi filtru r (2r) la ieşire; IT — invertor; CS — bateria de condensatoare pentru circuitul de sarcină al invertorului; TI — subsistemul transformator de adaptare — inductor; CA — circuite auxiliare de comandă, control şi semnalizare; BC — blocul electronic de comandă; AM — aparate indicatoare pentru măsurarea curenţilor şi tensiunilor; SCFa — subsistemul de răcire prin ventilaţie cu aer; SCFA — subsistemul de răcire forţată cu apă.

Funcţionarea instalaţiilor de acest tip presupune participarea a mai multor agenţi energetici. Agentul energetic principal (energia electrică) suportă, în procesul de transfer între reţea şi piesa aflată în cîmpul magnetic al inductorului, modificări ale mărimilor caracteristice (frecvenţă, curent, tensiune), în scopul transformării cu eficienţă maximă în energie calorică. Agenţii de răcire se aplică pentru eliminarea pierderilor de energie în elementele componente ale instalaţiei. Există doi agenţi de răcire consacraţi pentru astfel de instalaţii: aerul — pentru ventilaţia elementelor semiconductoare de putere şi apa — pentru răcirea inductorului şi transformatorului de adaptare. Uneori se răcesc cu apă şi bateria condensatoarelor de sarcină şi unele semiconductoare de putere. Sursa de aer este însuşi mediul ambiant, iar sursa de apă poate fi reţeaua întreprinderii sau un subsistem independent, în circuit închis, cu răcire forţată a apei prin ventilaţie.

În cadrul lucrării prin piesă se va înţelege totalitatea componentelor (elementelor) metalice aflate în cîmpul magnetic al inductorului pentru încălzire concomitentă. Relaţiile de cal-

* Conf. dr. ing. Teodor Maghiar, ş.l. dr. ing. Ioan Felea — Institutul de Subingineri, Oradea.

cul pentru parametrii R, L ai ansamblului inductor-piesă, cu referire la cazul în care piesa este constituită dintr-o singură componentă, sînt indicate în literatură [1, 4]. Prezenta lucrare își propune deducerea unor relații valabile și pentru cazul pieselor cu mai multe componente, respectiv elucidarea modului de întocmire a bilanțului energetic pentru instalațiile echipate cu invertoare statice.

1. Parametrii ansamblului inductor-piesă

Un exemplu semnificativ al pieselor cu mai multe componente este acela al lipirii plăcuțelor din materiale dure pe suporturi de scule (fig. 2).

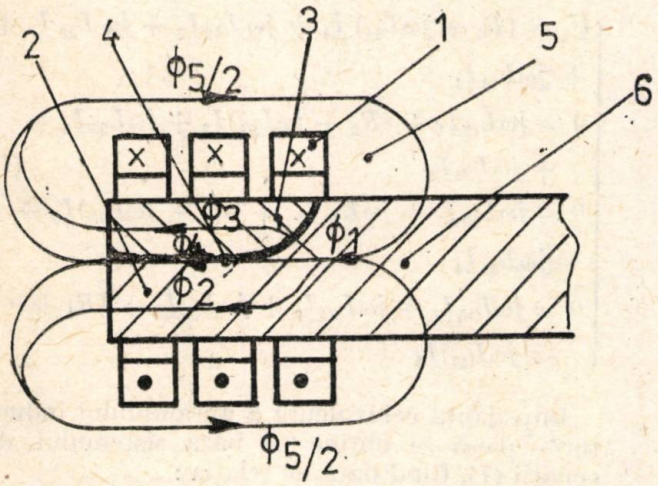


Fig. 2. Ansamblul inductor — piesă: 1 — inductor; 2 — suport cuțit (partea parcursă de componenta Φ_2 a fluxului magnetic total); 3 — plăcuță (parcursă de componenta Φ_3 a fluxului magnetic); 4 — aliaj de lipit (zonă parcursă de componenta Φ_4 a fluxului magnetic); 5 — zona exterioară care poate fi și cu concentrator de cîmp; 6 — suport cuțit (zona parcursă de fluxul magnetic total Φ_1).

Schema echivalentă a circuitului magnetic se reprezintă în figura 3. Notațiile sînt cele consacrate [7], iar indicii mărimilor sînt corelați cu figura 2.

În legătură cu schema din figura 3 poate fi scris următorul sistem de ecuații:

$$\begin{cases} \Phi_1 = \Phi_2 + \Phi_3 + \Phi_4 \\ F_{m1} + F_{m2} = \Phi_1 R_{me} + \Phi_2 R_{m2} \\ F_{m2} - F_{m3} = \Phi_2 R_{m2} - \Phi_3 R_{m3} \\ F_{m3} - F_{m4} = \Phi_3 R_{m3} - \Phi_4 R_{m4} \\ F_{m1} = N_1 I_1 ; F_{m2} = I_2 ; F_{m3} = I_3 ; F_{m4} = I_4 \end{cases} \quad (1)$$

N_1 fiind numărul de spire ale inductorului.

Rezolvînd sistemul rezultă:

$$\Phi_i = \frac{N_1 I_1 + I_i - \Phi_1 R_{me}}{R_{mi}} \quad (i = 2, 3, 4). \quad (2)$$

$$\Phi_i = \frac{1}{1 + R_{me} \sum_{i=2}^{4} \frac{1}{R_{mi}}} \left[N_1 I_1 \sum_{i=2}^{4} \frac{1}{R_{mi}} + \sum_{i=2}^{4} \frac{I_i}{R_{mi}} \right]. \quad (3)$$

Pe de altă parte [4]: $N_i \Phi_i = \sum_{j=1}^{4} L_{ij} I_j$. (4)

În baza relațiilor (2, 3, 4) se obțin expresiile inductivităților proprii ale inductorului (L_{11}) și componentelor piesei (L_{ii}), precum și expresiile inductivităților mutuale (L_{1i}, L_{ij}). Introducînd notația $\Lambda_k = \frac{1}{R_{mk}}$, expresiile respective se vor scrie sub următoarea formă generalizată:

$$\begin{cases} L_{11} = \dfrac{N_1^2 \times \sum_{k=2}^{n} \Lambda_k}{1 + R_{me} \times \sum_{k=2}^{n} \Lambda_k} \\ L_{ii} = \dfrac{R_{mi}\left(1 + R_{me} \times \sum_{k=2}^{n} \Lambda_k\right) - R_{me}}{R_{mi}^2\left(1 + R_{me} \times \sum_{k=2}^{n} \Lambda_k\right)} ; \quad (i \geqslant 2) \\ L_{1i} = \dfrac{N_1}{R_{mi}\left(1 + R_{me} \times \sum_{k=2}^{n} \Lambda_k\right)} ; \quad (i \geqslant 2) \\ L_{ij} = \dfrac{-R_{me}}{R_{mi} \times R_{mj}\left(1 + R_{me} \times \sum_{k=2}^{n} \Lambda_k\right)} \quad \begin{matrix} (i \geqslant 2) \\ (j \geqslant 3) \\ (i \neq j) \end{matrix} \end{cases} \quad (5)$$

unde:

$(n - 1)$ reprezintă numărul de componente ale piesei;

$R_{mi}(R_{mj}, R_{mk})$ — reluctanța circuitului magnetic al componentei $i(j, k)$;

R_{me} — reluctanța circuitului magnetic exterior piesei;

Λ_k — permeanța componentei k.

Reluctanțele pot fi determinate cu relații de tipul:

$$R_{mi} = \frac{l_i}{\mu_i S_i} ; \quad R_{me} = \frac{l_e}{\mu_e S_e}, \quad (6)$$

în care:

l_i, l_e sînt lungimea componentei (l_i) parcursă de fluxul magnetic (Φ_i) și respectiv lungimea medie a liniei cîmpului magnetic exterior (l_e);

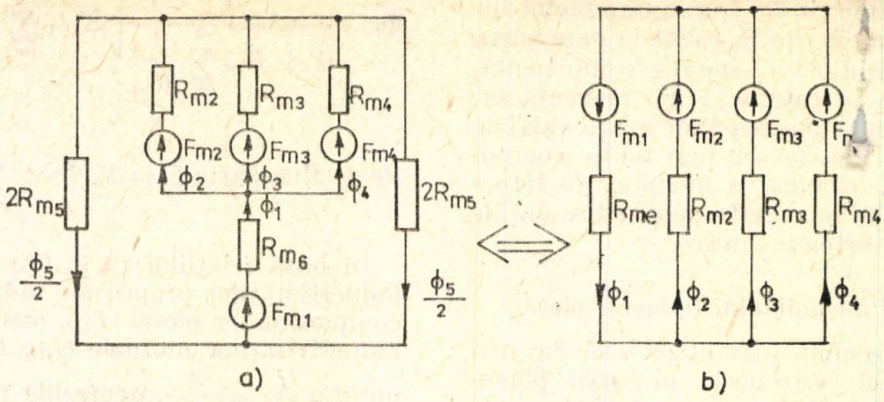


Fig. 3. Schema echivalentă a circuitului magnetic pentru ansamblul inductor-piesă.

S_i, S_e — aria secţiunii prin care se închide cîmpul magnetic de fluxul $\Phi_i (i \geq 2)$ şi respectiv Φ_1;

μ_i, μ_e — permeabilitatea magnetică a componentei (i) şi respectiv a circuitului magnetic exterior.

Cunoscînd mărimile menţionate pot fi determinate, pentru fiecare caz concret, valorile inductivităţilor proprii şi mutuale.

Considerînd că inductorul are diametrul interior d_1 şi lungimea h_1, iar piesa are diametrul exterior echivalent d_2 şi este expusă în inductor pe lungimea h_2 fiind încălzită peste temperatura Curie, din expesiile (5) pot fi obţinute relaţiile particulare existente în literatură [1, 4] pentru piesa cu o componentă.

Schema electrică echivalentă a asamblului inductor-piesă poate fi reprezentată — pentru cazul piesei cu trei componente — conform figurii 4.

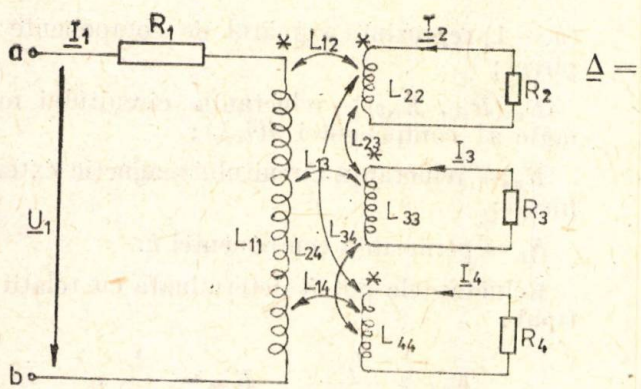


Fig. 4. Schema electrică a ansamblului inductor-piesă.

Dacă mărimile electrice specificate în legătură cu schema din figura 4 sînt sau pot fi aproximate ca sinusoidale atunci poate fi scris următorul sistem de ecuaţii:

$$\begin{cases} \underline{U}_1 = (R_1 + j\omega L_{11})\,\underline{I}_1 + j\omega L_{12}\underline{I}_2 + j\omega L_{13}\underline{I}_3 + \\ + j\omega L_{14}\underline{I}_4 \\ 0 = j\omega L_{12}\underline{I}_1 + (R_2 + j\omega L_{22})\underline{I}_2 + j\omega L_{23}\underline{I}_3 + \\ + j\omega L_{24}\underline{I}_4 \\ 0 = j\omega L_{13}\underline{I}_1 + j\omega L_{23}\underline{I}_3 + (R_3 + j\omega L_{33})\underline{I}_3 + \\ + j\omega L_{34}\underline{I}_4 \\ 0 = j\omega L_{14}\underline{I}_1 + j\omega L_{24}\underline{I}_2 + j\omega L_{34}\underline{I}_3 + (R_4 + \\ + j\omega L_{44})\underline{I}_4 \end{cases} \quad (7)$$

Impedanţa echivalentă a ansamblului inductor — piesă se obţine pe baza sistemului de ecuaţii (7), fiind dată de relaţia:

$$\underline{Z}_e = \frac{\underline{U}_1}{\underline{I}_1} = \frac{\underline{\Delta}}{\underline{\Delta}_1} = R_e + jX_e = R_e + j\omega L_e \quad (8)$$

unde:

$$\underline{\Delta} = \begin{vmatrix} R_1 + j\omega L_{11} & j\omega L_{12} & j\omega L_{13} & j\omega L_{14} \\ j\omega L_{12} & R_2 + j\omega L_{22} & j\omega L_{23} & j\omega L_{24} \\ j\omega L_{13} & j\omega L_{23} & R_3 + j\omega L_{33} & j\omega L_{34} \\ j\omega L_{14} & j\omega L_{24} & j\omega L_{34} & R_4 + j\omega L_{44} \end{vmatrix} \quad (9)$$

$$\underline{\Delta}_1 = \begin{vmatrix} R_2 + j\omega L_{22} & j\omega L_{23} & j\omega L_{24} \\ j\omega L_{23} & R_3 + j\omega L_{33} & j\omega L_{34} \\ j\omega L_{24} & j\omega L_{34} & R_4 + j\omega L_{44} \end{vmatrix} \quad (10)$$

Parametrii (R_e, L_e) ai ansamblului inductor-piesă, reduşi la bornele inductorului (bornele secundare ale transformatorului) sînt cuprinşi în expresia (8) şi pot fi determinaţi pe baza mărimilor menţionate anterior. Parametrii proprii ai componentelor (R_i, L_{ii}) fiind variabili cu

temperatura acestora, rezultă că şi parametrii echivalenţi vor fi variabili pe parcursul procesului de încălzire. Aceştia pot fi estimaţi pentru diferite valori ale temperaturii (θ) sau ca valori medii ponderate dacă se cunosc variaţiile permeabilităţii magnetice $\mu_r = f(\theta)$ şi rezistivităţii $\rho = f(\theta)$ pe parcursul procesului de încălzire. Pe baza parametrilor (R_e, X_e, R_1) pot fi estimaţi indicatorii energetici ($\cos\varphi$, η) [1, 4] fundamentali ai ansamblului inductor-piesă:

$$\cos\varphi = \frac{R_e}{\sqrt{R_e^2 + X_e^2}}; \quad \eta = \frac{R_e - R_1}{R_e}. \quad (11)$$

2. Bilanţul energetic al instalaţiilor echipate cu invertoare statice

a) Stabilirea soluţiei

Rezultatele obţinute în urma efectuării unui bilanţ energetic sînt puternic afectate de mărimile de intrare, fapt pentru care se impune stabilirea atentă a naturii şi valorilor acestora. Pentru efectuarea bilanţului energetic la asemenea instalaţii sînt posibile teoretic două alternative: pe bază de mărimi electrice şi pe bază de mărimi termice. La instalaţiile echipate cu invertoare statice adoptarea soluţiei pentru efectuarea bilanţului energetic este afectată de următoarele considerente:

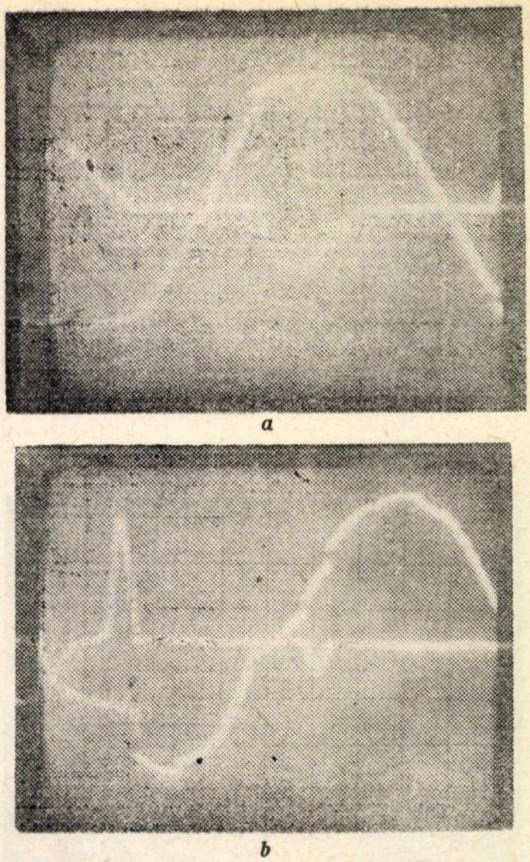
— Caracterul puternic nesinusoidal al mărimilor electrice (fig. 5—7). Pe parcursul procesului de încălzire a piesei, simultan cu creşterea temperaturii se modifică parametrii μ_r, ρ [1, 4] şi prin urmare impedanţa circuitului de sarcină. Bateria de condensatoare (CS) avînd valoare fixă, se modifică valorile (efective, medii, maxime) ale mărimilor electrice, precum şi frecvenţele acestora. Deducerea unor legi de variaţie acceptabile pentru efectuarea unui bilanţ operativ, cu mijloacele obişnuite [3] este practic imposibilă, întrucît însăşi distribuţia temperaturii, în piesă, pe parcursul procesului de încălzire, este descrisă prin intermediul unor funcţii Bessel de rangul întîi [1].

Reprezentarea grafică a unei mărimi electrice (x) cu valoare şi frecvenţă variabilă poate fi urmărită (pentru o semiperioadă) în figura 8.

În acest caz valorile medii şi efective pot fi evaluate cu relaţiile (8) şi (9) dacă se cunoaşte funcţia $x(t, \alpha)$, limitele $(\alpha_1, \alpha_2) = f(\mu_r, \rho, \theta)$ şi timpul de atingere a temperaturii de lucru (timpul de încălzire t_i).

$$X_{med} = \frac{1}{\pi t_i} \int_0^{t_i} \int_{\alpha_1}^{\alpha_2} x(t, \alpha) d\alpha \cdot dt; \quad (12)$$

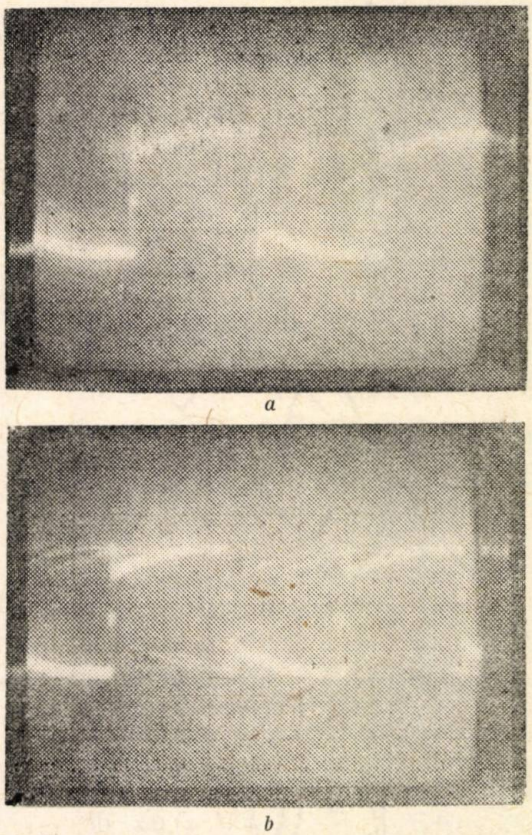
$$[\alpha^1, \alpha_2] \subseteq [0, \pi]$$



a

b

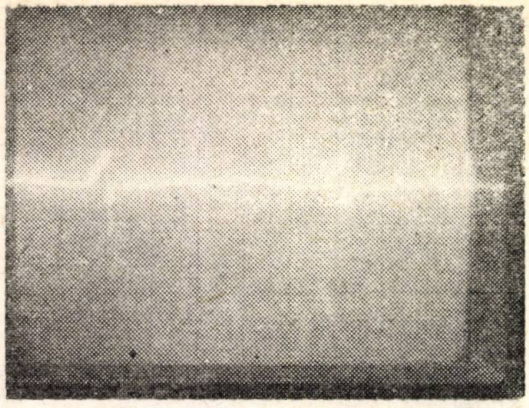
Fig. 5. Tensiunea şi curentul pe o fază a reţelei de alimentare cu piesa rece (a) şi încălzită (b).



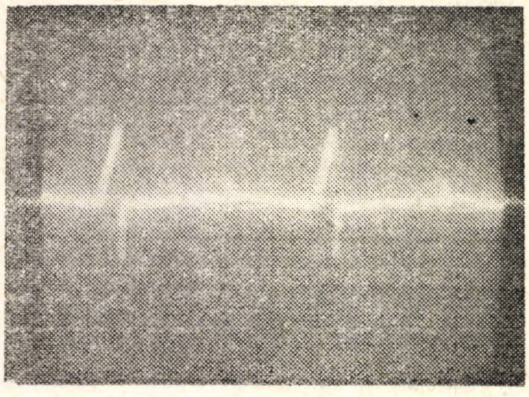
a

b

Fig. 6. Tensiunea după invertor cu piesa rece (a) şi în curs de încălzire (b).



a



b

Fig. 7. Curentul prin dioda de stingere cu piesa rece (a) şi încălzită (b).

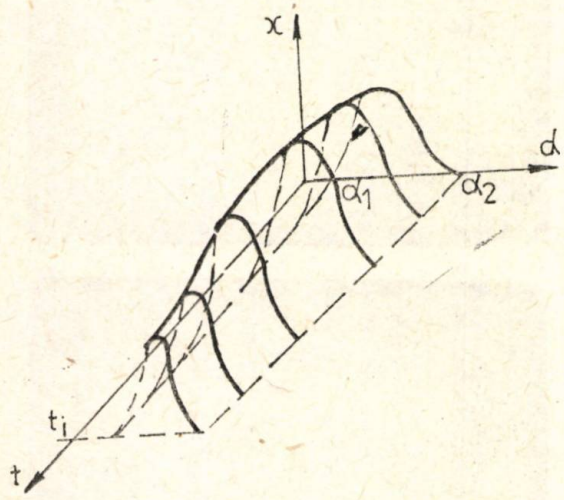


Fig. 8. Reprezentarea unei mărimi cu valoare şi frecvenţă variabilă.

$$X = \sqrt{\frac{1}{\pi t_i} \int_0^{t_i} \int_{\alpha_1}^{\alpha_2} x^2(t, \alpha)\, \mathrm{d}\alpha \cdot \mathrm{d}t} \qquad (13)$$

Evaluarea valorilor X_{med} şi X ar fi posibilă cu ajutorul calculatorului electronic, prin înregistrarea (filmarea) mărimii (x) pe parcursul procesului de încălzire al unei piese (t_i), discretizarea după cele două axe (α, t) şi substituirea integralelor cu sume.

— Efectuarea bilanţului energetic pe bază de mărimi electrice este afectată şi de următoarele efecte care intervin în funcţionarea instalaţiilor respective [1, 4] : efectul pelicular, efectul de proximitate şi variaţia în salt (cu supravalori) a mărimilor electrice la comutaţia dispozitivelor semiconductoare de putere.

Avînd în vedere aspectele menţionate se deduce că efectuarea bilanţului energetic al instalaţiilor respective este operativă doar pe bază de mărimi termice. În acest sens se impune efectuarea unei analize atente a modului de transmitere a căldurii între diferitele elemente ale instalaţiei şi agenţii de răcire, aplicîndu-se, după caz, relaţiile de calcul specificate în tabelul 1 [1, 2, 4, 9].

Tabelul 1

Tipul transmisiei termice		Relaţia de calcul al puterii disipate în regim staţionar [W]
Convecţie	forţată cu apă (CFA)	$P_1 = 17{,}1\ Q\ (\theta_2 - \theta_1)$
	forţată cu aer (CFa)	$P = (2{,}3 + 11{,}6\sqrt{v}) \cdot (\theta_2 - \theta_1) S$
	natural în aer (CNa)	$P = \alpha_C\ (\theta_c - \theta_a)\ S$
Radiaţie (R)		$P = \varepsilon C_0 \left[\left(\frac{T_c}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_a}{100} \right)^4 \right]$
Combinată ≡ convecţie naturală în aer şi radiaţie (CNR)		$P = \alpha_\Sigma\ (\theta_c - \theta_a) S$

S-a notat cu:
Q — debitul apei de răcire [l/min];
v — viteza aerului [m/s] ;
θ_2, θ_1 — temperatura fluidului la ieşirea, respectiv intrarea circuitului de răcire, în regim staţionar [°C];
S — aria suprafeţei corpului aflat în contact cu mediul de răcire [m²];
θ_c, θ_a — temperatura corpului şi respectiv a mediului ambiant [°C];
$T_c = 273 + \theta_c$; $T_a = 273 + \theta_a$ — temperaturile absolute [K];
α_c, α_Σ — transmisivitatea termică prin convecţie şi respectiv globală [W.m^{-2}.grad^{-1}];
ε — constanta de radiaţie;
$C_0 = 5{,}77$ W.m^{-2}.grad^{-4} — coeficientul de radiaţie al corpului absolut negru.

Valorile constantei ε sînt funcţie de materialul şi starea suprafeţei S, iar valorile transmisivităţilor (α_c, α_Σ) depind de regimul de curgere

al fluidului, de proprietățile fizico-chimice ale fluidului, temperaturile (θ_c, θ_a) forma și dimensiunile suprafeței corpului cald. Aceste valori vor fi adoptate, în fiecare caz concret, după recomandările din [1, 2, 9].

La efectuarea bilanțului energetic al instalațiilor menționate pe lîngă determinările de puteri disipate pe bază de mărimi termice (globale) intervin unele elemente (ventilatoare, pompe, transformatoare pentru alimentarea blocului de comandă și a circuitelor auxiliare etc.) pentru care se măsoară direct puterea electrică absorbită. De asemenea, pentru determinarea randamentului global al instalației și aprecierea modului de închidere a bilanțului se vor determina puterea utilă (disipată în piesă) și puterea absorbită de la rețea. Puterea absorbită (P_a) poate fi determinată, cu suficientă exactitate, prin înregistrare, avîndu-se în vedere — dacă este cazul — recomandările privind calculul în regim deformant [10]. Puterea utilă (P_u) se determină cu relația [1, 4]:

$$P_u = \frac{1}{t_i} \sum_{j=2}^{n} m_j i_j \text{ [kW]}, \qquad (14)$$

unde:

m_j este masa componentei j a piesei [kg];

i_j — entalpia masică a componentei j la temperatura finală rezultată în urma procesului de încălzire [kWh/kg].

b) Aplicație

În continuare se prezintă rezultatele bilanțului efectuat asupra unei instalații cu invertor static, cu circuit de sarcină compensat serie, destinată încălzirii în vederea deformării plastice a unor semifabricate cilindrice din oțel Ø 28 × × 200 mm ($m = 0{,}97$ kg). Regimul de funcționare al instalației este continuu. Principalele elemente consumatoare de energie, asupra cărora s-au efectuat măsurători pentru determinarea puterii disipate pe bază de mărimi termice, sînt menționate în tabelul 2.

Temperaturile s-au măsurat cu următoarele instrumente multimetru „Meratronic" — pentru suprafețele prevăzute cu CNR, termometre cu mercur — pentru fluidele care efectuează răcirea prin convecție forțată și termometru cu termocuplu cromel-alumel — pentru piesă.

Evoluția temperaturii pentru unele elemente ale instalației, specificate prin codurile din tabelul 2, poate fi urmărită în figura 9, iar pentru piesă în figura 10.

Valorile mărimilor măsurate, adoptate și calculate pentru elementele codificate conform tabelului 2, se dau în tabelul 3. La poziția TI1 sînt cuprinse valorile pentru circuitul magnetic și primarul transformatorului (CM + PT), iar la poziția TI2 pentru inductor și secundarul transformatorului (I + ST), conform configurației circuitelor de CFA. Pierderile de putere preluate prin CFA a(I + ST) cuprind și puterea disipată de către piesa încălzită [4], transmisă prin conducție între suprafața piesei și inductor, prin stratul izolator termic. Puterea respectivă se va aprecia cu relația [1, 4]:

$$P_{PI} = \frac{2\pi\lambda h_1 (\theta_2 - \theta_1)}{\ln (d_1/d_2)} \qquad (15)$$

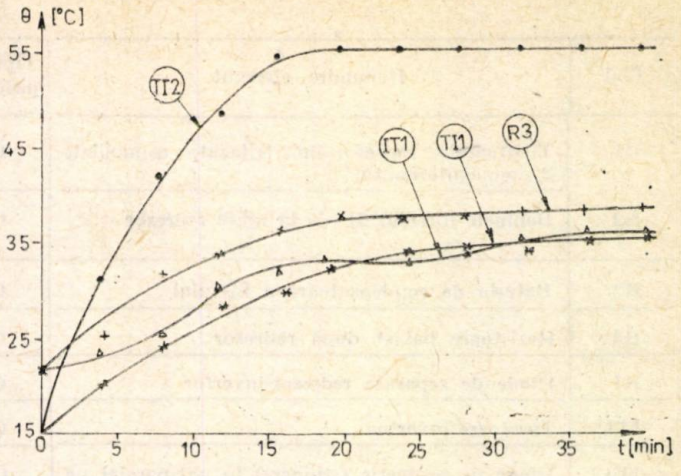


Fig. 9. Evoluția temperaturii unor elemente ale instalației.

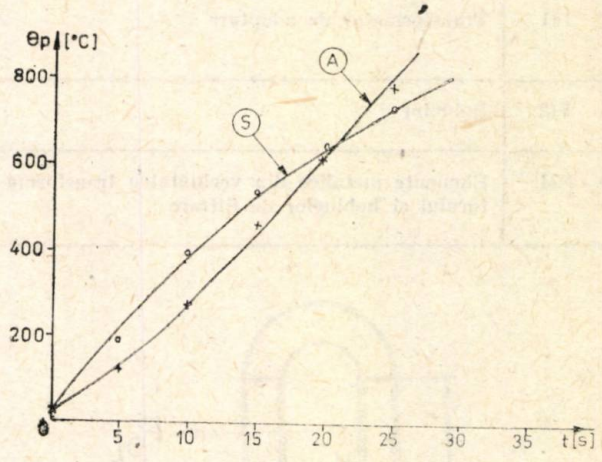


Fig. 10. Evoluția temperaturii în axul A și la suprafața S a piesei.

în care:

θ_2, θ_1 sînt temperaturile celor două suprafețe (fig. 11) [°C];

λ — conductivitatea termică a materialului termoizolant

$$\lambda = 0{,}231 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \text{ grd}^{-1} \text{ [4]}$$

$$P_{PI} = \frac{2\pi \cdot 0{,}231 \cdot 0{,}226\,(744 - 55)}{\ln (38/28)} = 753 \text{ W}.$$

Pierderile directe de putere în (I + ST) vor fi:

$$P'_{TI2} = P_{TI2} - P_{PI} = 1\,675{,}6 - 753 = 922{,}6 \text{ W}. \qquad (16)$$

Avînd în vedere relația de calcul al pierderilor de putere prin efectul Joule-Lenz (RI^2), pierderile în cele două elemente pot fi apreciate după raportul rezistențelor:

$$\frac{P_I}{P_{ST}} = \frac{R_I}{R_{ST}} = 9{,}07; \text{ deci: } P_I = 831 \text{ W}; \; P_{ST} = 91{,}6 \text{ W}. \qquad (17)$$

Ca urmare pierderile totale în transformator sînt:

$$P_T = P_{TI1} + P_{ST} = 995 \text{ W}.$$

Tabelul 2

Cod	Denumire element	Tipul transmisiei termice	Unele caracteristici
R1	Tiristoarele redresorului trifazat, comandat, 2×monoalternanță	CNR	Tip T320N1800 pe radiator TNF 120
R2	Bobinele filtrului 2Γ de la ieșire redresor	CNR	Circuit magnetic de formă I, din tole ARMCO, 2×12 μH
R3	Bateria de condensatoare a filtrului	CNR	Condensatoare tip EG1162, 2×7216 μF
R4	Rezistoare balast după redresor	CNR	Rezistoare tip RBG 250 W, 2×1360 Ω
RI	Diode de separare redresor-invertor	CNR	Tip TU35 pe radiator TNF 120
IT1	Tiristoare invertor	CFa	Tip T600 F 1200 pe radiator WR 200—30
IT2	Diode de protecție (stingere) în antiparalel pe tiristoare invertor	CFa	Tip D495 1200 pe radiator KX2 120 T 30
CS	Bateria condensatoarelor de sarcină	CNR	Condensatoare tip HPMT 4013, 24 μF
TI1	Transformator de adaptare	CFA CNR	În manta, circuit magnetic din tole ARMCO, primar din țeavă de cupru Ø10×1,5 mm, secundar din tablă cupru 2×3 mm
TI2	Inductor	CFA	Cilindric, din țeavă cupru Ø 12 mm, pasul 17 mm, 12 spire, izolat cu diatomit
EM	Elemente metalice din vecinătatea transformatorului și bobinelor de filtrare	CNR	Din oțel acoperit cu vopsea de ulei

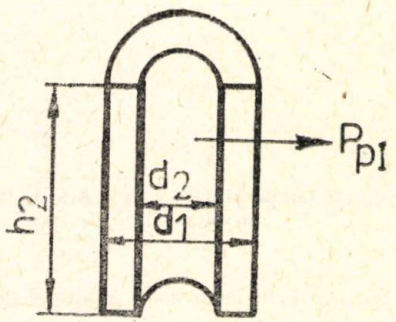


Fig. 11. Explicativă privind transmisia căldurii între piesă și inductor.

Pierderile prin CNR de la suprafețele laterale ale piesei în mediu se pot aprecia cu relația:

$$P_{CRP} = \alpha_s(\theta_{cm} - \theta)S = 12 \cdot (360 - 22)\,\frac{2\pi 28^2}{4}\cdot 10^{-6} \simeq 5 \text{ W} \qquad (19),$$

θ_{cm} fiind temperatura medie la suprafața piesei.

Puterile absorbite de blocul de comandă (P_{BC}) și ventilatoare (P_{CFa}) s-au măsurat direct și sînt: $P_{BC} = 9{,}5$ W; $P_{CFa} = 60{,}8$ W.

Pierderile totale de putere determinate prin măsurători au valoarea: $P_p = 5\,056$ W $= 5{,}056$ kW.

Puterea utilă este: $P_u = \dfrac{m \cdot i}{t_i} = 19{,}77$ kW, (20)

unde: $i = 0{,}15$ kWh/kg [4]. $t_i = 26{,}5$ s $= 7{,}36 \cdot 10^{-3}$ h (fig. 10).

Profilul puterii absorbite la încălzirea unei piese înregistrată cu un aparat de viteză mare se prezintă în figura 12.

Puterea absorbită se poate aprecia cu relația:

$$P_a = \frac{K}{t_i}\int_0^{t_i} \beta(t)\,dt = \frac{K \cdot S_\beta}{t_i}, \qquad (21)$$

unde:

K este constanta aparatului [kW/div];

S_β — aria suprafeței din figura 12 [div.s].

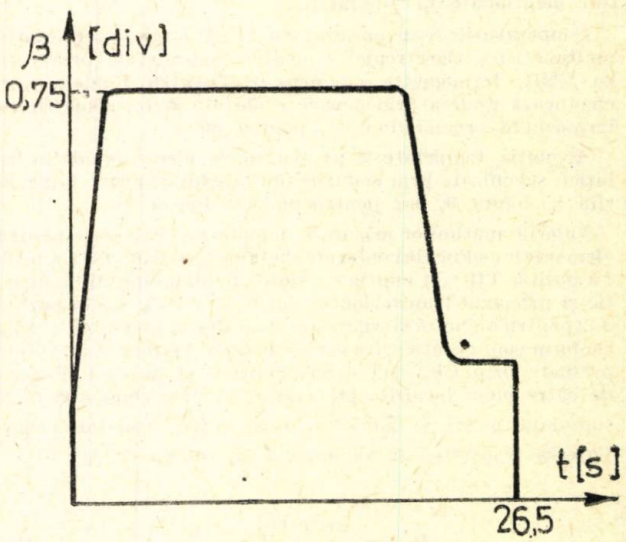


Fig. 12. Profilul puterii absorbite.

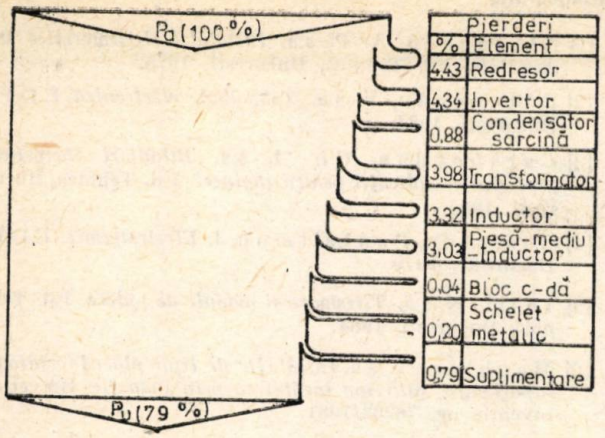


Fig. 13. Diagrama bilanțului energetic.

La trasarea diagramei pierderile în diodele de separare (RI) s-au divizat egal între redresor (R) și invertor (IT), iar întrucît ventilatoarele sînt utilizate pentru CFa a invertorului, puterea absorbită de acestea s-a atașat la invertor.

Pe baza valorilor temperaturilor măsurate și avînd în vedere valorile admisibile ale temperaturilor [1, 2, 4, 5, 6, 7, 11], se pot determina coeficienții de încărcare ai elementelor instalației [9], la temperatura menționată a mediului ambiant:

$$K = \sqrt{\frac{\theta_s - \theta_a}{\theta_{adm} - \theta_a}}, \qquad (23)$$

în care:

θ_s, θ_{adm} sînt temperatura în regim staționar și respectiv temperatura admisibilă a zonei cu limita minimă de temperatură din cadrul elementului.

Valorile coeficientului K sînt evidențiate în tabelul 3.

Tabelul 3

Cod element	Q [l/min]	v [m/s]	θ_a [°C]	θ_1 [°C]	θ_e sau/și θ_2 [°C]	α_Σ [W·m^{-2}·grd^{-1}]	α_C [W·m^{-2}·grd^{-1}]	ε	S [m^2]	P [W]	k
R1	—	—	22	—	40,6	—	5,8	0,075	3,6	420	0,75
R2	—	—	22	—	45,8	11,2	—	—	54.10^{-3}	14,4	0,59
R3	—	—	22	—	38,3	—	5,8	0,075	2,25	230	0,58
R4	—	—	22	—	38,8	20	—	—	0,912	306,4	0,25
RI	—	—	22	—	40	—	5,8	0,075	2,4	274,4	0,72
IT1	—	6	—	22	35,6	—	—	—	1,2	501,3	0,58
IT2	—	6	—	22	32,5	—	—	—	1,2	386,9	0,49
CS	—	—	22	—	29,5	—	5,8	0,075	4,78	220,3	0,4
TI1 (CM+PT)	2,4	—	22	15	35,2	11,2(CM)	—	—	0,5	903,4	0,61
TI2 (I+ST)	2,4	—	22	15	39,5 55	11(ST)	—	—	0,18	1675,6	1
EM	—	—	22	—	38	12	—	—	0,25	48	—

În condițiile regimului deformant care caracterizează funcționarea instalațiilor respective, puterea înregistrată de către aparatele obișnuite este afectată de erori, fapt pentru care propunem ca puterea absorbită să fie determinată în baza relației:

$$P_a = P_u + P_p + \Delta P, \qquad (22)$$

în care:

ΔP sînt pierderile suplimentare (în speță în conductoarele de legătură ale elementelor de forță).

Dacă se admite $\Delta P = 0{,}01 \cdot P_u$ rezultă $P_a = 25\,023$ W și diagrama bilanțului real (fig. 13).

Concluzii

Aplicarea legilor generale ale electrotehnicii la analiza fenomenelor electromagnetice de la nivelul ansamblului inductiv — piesă, din cadrul instalațiilor de încălzire inductivă, permite nuanțarea expresiilor parametrilor în cazul pieselor cu mai multe componente. În lucrare sînt evidențiate, în acest sens, expresiile inductivităților proprii și mutuale, precum și modul de estimare a parametrilor echivalenți pentru ansamblul inductor piesă. Expresiile deduse, pentru mărimile menționate, oferă posibilitatea de a efectua o analiză mai exactă a solicitărilor medii și momentane în tensiune și curent

la care sînt supuse componentele instalației, precum și de a estima mai fidel unii indicatori energetici.

Efectuarea expeditivă a bilanțului energetic al instalațiilor de încălzire inductivă prin curenți de medie frecvență, echipate cu invertoare statice, implică operarea cu mărimi termice (globale) de intrare. În aceste condiții, la adoptarea corectă a coeficienților care intervin și efectuarea precisă a măsurătorilor de mărimi în regim staționar, printr-un număr minim de relații pot fi stabilite valorile pierderilor de putere în elementele instalațiilor. Pe baza valorii temperaturilor se pot determina coeficienții de încărcare ai elementelor componente ale instalațiilor, în condițiile de funcționare concrete, apreciindu-se gradul de utilizare al acestora.

Cu referire la exemplul tratat se constată un randament relativ bun (0,79) și existența unor importante disponibilități în utilizare din partea tuturor elementelor, cu excepția inductorului; această observație se va avea în vedere la proiectarea și utilizarea instalațiilor respective, apreciindu-se că prin uniformizarea spre valoarea maximă (1) a coeficienților de utilizare ai elementelor, randamentul instalațiilor va crește, iar cheltuielile specifice (pe kW util) vor fi reduse.

Bibliografie

[1] Altgauzen, A. P. ș.a. *Instalații electrotermice industriale.* Ed. Tehnică, București, 1975.

[2] Cătuneanu, V. ș.a. *Tehnologie electronică.* E.D.P., București, 1984.

[3] Carabogdan, Gh. I. ș.a. *Bilanțuri energetice, probleme și aplicații pentru ingineri.* Ed. Tehnică, București, 1986.

[4] Comșa, D., Pantelimon, I. *Electrotermie.* E.D.P. București, 1979.

[5] Iosif, N. ș.a. *Tiristoare și module de putere.* Ed. Tehnică, București, 1984.

[6] Maghiar, T. ș.a. *Instalație de lipit plăcuțe widia pe suport-cuțit, utilizînd încălzirea prin inducție.* Brevet de invenție nr. 78263/1981.

[7] Preda, M. *Bazele electrotehnicii.* E.D.P., București, 1980.

[8] Radu, Ov. *Componente electronice pasive.* Catalog, Ed. Tehnică, București, 1981.

[9] Suciu, I. *Bazele calculului solicitărilor termice ale aparatelor electrice.* Ed. Tehnică, București, 1980.

[10] Țugulea, A., Golovanov, C. *Efectele energetice ale regimurilor nesimetrice și deformante ale sistemelor electroenergetice. Posibilități de măsurare.* În: ENERG, nr. 3, Ed. Tehnică, București, 1987.

[11] * * * *Condensatoare.* Catalog, I.C.C.E. București, 1976.

(Primit la 23 aprilie 1988, acceptat la 23 februarie 1989)

Transformatoare de căldură cu absorbție sau cu resorbție într-o treaptă

Dr. ing. SAVA PORNEALĂ *

Descripori: transformatoare de căldură, procese, calcul, performanțe

Se prezintă modul de funcționare a transformatoarelor de căldură cu absorbție și cu resorbție cu soluție de bromură de litiu-apă, cu soluție amoniacală sau cu alte cupluri.

Se examinează procesele din aceste instalații, se indică atît metodologia de calcul, cît și domeniul de utilizare și performanțele fiecărui transformator de căldură, rezultate în urma unui studiu.

Avantaje deosebite prezintă transformatorul de căldură cu absorbție cu bromură de litiu-apă.

The operation of absorption and resorption heat transformers with lithium bromide-water solution, ammonia solution or others is presented.

The processes within these facilities are studied, the computation method as well as the application field, the performances of every heat transformer, resulted from a study are indicated.

The absorption heat transformer with lithium bromide-water solution shows special advantages.

1. Importanța transformatoarelor de căldură

Transformatorul de căldură este o instalație cu ajutorul căreia se asigură extragerea căldurii de la un mediu cu temperatură scăzută și cedarea acesteia unui mediu cu temperatură mai ridicată. Se înțelege că instalațiile frigorifice și pompele de căldură constituie transformatoare de căldură, dar în prezenta lucrare noțiunea de transformator de căldură va fi folosită pentru a defini o altă categorie de instalații diferite din punct de vedere constructiv și funcțional de cele menționate mai sus.

* Dr. ing. Sava Porneală — Universitatea Galați

În figura 1 se prezintă schemele fluxurilor energetice pentru cele trei categorii de instalaţii bazate pe absorbţie.

Instalaţia frigorifică cu absorbţie (I.F.) are rolul de a transporta fluxul de căldură Φ_0 de

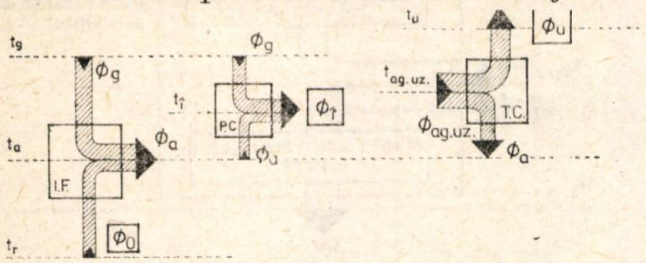


Fig. 1.

la mediul răcit care are temperatura t_r către mediul ambiant cu temperatura t_a şi în acest scop utilizează un flux de căldură Φ_g de la sursa cu temperatura t_g ($t_g > t_a$).

Pompa de căldură cu absorbţie (P.C.) foloseşte un flux de căldură Φ_g de la o sursă caldă cu temperatura t_g în scopul extragerii de la sursa rece, reprezentată prin mediul ambiant cu temperatura t_a, a unui flux de căldură Φ_a şi de a obţine un flux util $\Phi_i = \Phi_a + \Phi_g$ la o temperatură intermediară t_i ($t_a < t_i < t_g$).

Transformatorul de căldură cu absorbţie (T.C.) utilizează un flux de căldură $\Phi_{ag.uz}$ de la un agent termic uzat cu temperatura $t_{ag.uz.}$ în scopul obţinerii unui flux termic util Φ_u la o temperatură t_u mai mare decît a sursei termice folosite ($t_u > t_{ag.uz.}$). O altă parte din fluxul de căldură $\Phi_{ag.uz.}$ este cedată mediului ambiant în cadrul aparatelor răcite.

Pe platformele industriale există cantităţi mari de căldură cu temperaturi între 50 şi 100°C, neutilizabile în această formă, dar prin ridicarea nivelului termic cu ajutorul transformatoarelor de căldură se pot obţine energii termice utilizabile, ceea ce ar duce la obţinerea unor importante economii de combustibil. De asemenea, transformatoarele de căldură pot asigura utilizarea în mod economic şi a surselor geotermale şi a energiei solare.

Transformatorul de căldură poate fi apreciat după următoarele criterii: saltul de temperatură ($t_u - t_{ag.uz.}$), valoarea fluxului termic util Φ_u, randamentul exergetic şi prin gradul de utilizare a sursei termice de agent uzat.

În această lucrare se examinează procesele, calculele termice şi performanţele transformatoarelor de căldură cu absorbţie şi cu resorbţie într-o treaptă cu soluţie apă-amoniac şi bromură de litiu-apă.

2. Transformatorul de căldură cu absorbţie, cu soluţie de bromură de litiu -apă

Soluţia de bromură de litiu-apă are proprietăţi deosebit de bune în condiţiile de lucru din cadrul transformatoarelor de căldură cu absorbţie.

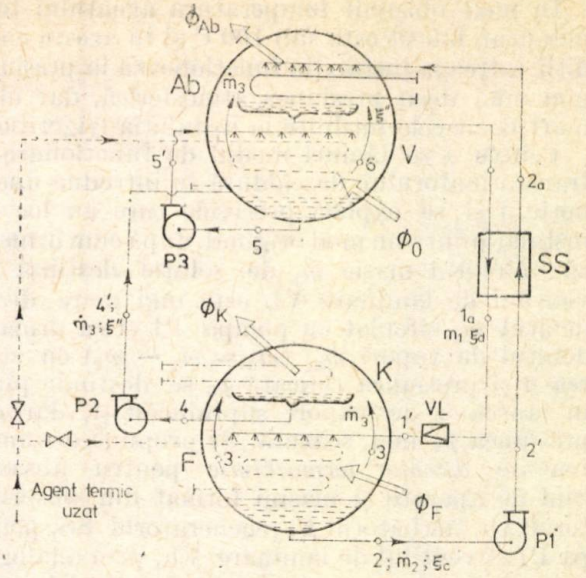


Fig. 2.

Transformatorul de căldură (fig. 2) cuprinde aceleaşi aparate ca şi instalaţia frigorifică, dar dispuse în alt mod şi avînd alte condiţii de lucru. Recipientul inferior, de joasă presiune, cuprinde fierbătorul F şi condensatorul K, iar recipientul superior, de înaltă presiune, cuprinde vaporizatorul V şi absorbitorul Ab.

În figura 3 este redat procesul din instalaţie în diagrama $i - \xi$ (entalpie-concentraţie) şi în diagrama $\lg p - i$ (pentru $\xi'' = 0$).

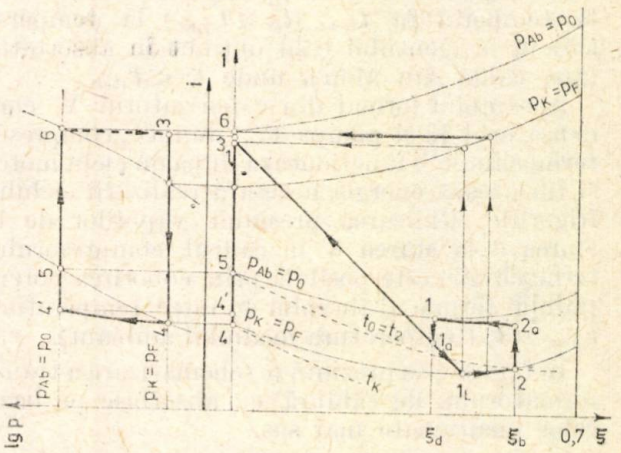


Fig. 3.

Notă. În loc de ξ_b se va citi ξ_c.

Agentul termic uzat circulă în paralel prin aparatele încălzite şi anume fierbătorul F şi vaporizatorul V. Se asigură astfel degazarea soluţiei în fierbătorul F la presiunea scăzută p_F şi vaporizarea apei la presiunea ridicată $p_0 = p_{Ab}$. Presiunile $p_F = p_k$ şi $p_0 = p_{Ab}$ sînt determinate de temperatura apei de răcire şi respectiv de temperatura agentului termic uzat.

În mod obișnuit temperatura agentului termic uzat folosit este sub 100°C și în aceste condiții întreaga instalație funcționează la presiuni mai mici decît presiunea atmosferică, dar mai mari decît cele întîlnite la instalația frigorifică.

Pentru a se lămuri modul de funcționare a transformatorului de căldură se introduc unele noțiuni și se explică procesele care au loc în instalație într-un mod original, după cum urmează: Debitul masic $\dot{m}_1$ de soluție destinsă în ventilul de laminare VL este mai mare decît debitul $\dot{m}_2$ circulat cu pompa P1 și ca urmare debitul de vapori $\dot{m}_3$ ($\dot{m}_3 = \dot{m}_1 - \dot{m}_2$) cu starea 6 și presiunea ridicată p_0 se destinde pînă în starea 3 de vapori supraîncălziți, dar cu presiunea p_k mai scăzută. Se propune denumirea de *detentor termochimic* pentru ansamblul de aparate și mașini format din absorbitorul Ab, fierbătorul F, regeneratorul SS, pompa P1 și ventilul de laminare VL, prin analogie cu noțiunea de „compresor termochimic", utilizată în cazul instalațiilor frigorifice cu absorbție.

Fluxurile termice Φ_F și Φ_{Ab} sînt comparabile ca valoare ($\Phi_{Ab} = \Phi_F$), dar saltul termic de la temperatura medie de fierbere a soluției t_{Fm} la temperatura medie a soluției din absorbitor $t_{Abm}(t_{Abm} > t_{Fm})$ se poate considera că se obține cu ajutorul energiei mecanice produsă de detentorul termochimic prin destinderea între stările 6 și 3. Ținînd seama de schimburile de căldură la diferență finită de temperatură, rezultă că detentorul termochimic, funcționînd după un ciclu frigorific, asigură „pomparea" căldurii de la temperatura $t_{ag.uz.}$ ($t_F < t_{ag.uz.}$) la temperatura t_u a agentului cald obținut în absorbitor (apă caldă sau abur), unde $t_u < t_{Abm}$.

Ansamblul format din vaporizatorul V, condensatorul K și pompa P2, numit „compresor termochimic", funcționează după un ciclu motor și furnizează energia necesară realizării ciclului frigorific. Ridicarea presiunii vaporilor de la starea 3 la starea 6 în cadrul compresorului termochimic este posibilă prin coborîrea potențialului termic al fluxului Φ_k între temperatura $t_{ag.uz.}$ și t_a (temperatura mediului ambiant).

În figura 4 se prezintă o schematizare a transformatorului de căldură cu absorbție pe baza celor menționate mai sus.

Pentru instalația din figura 2 presiunile de lucru sînt determinate de condițiile exterioare de funcționare:

— temperatura apei de răcire determină temperatura de condensare t_k, la care corespunde presiunea de saturație p_k;

— temperatura agentului termic uzat determină temperatura de vaporizare a apei la care corespunde presiunea p_0.

În cazul circulației în paralel a agentului termic uzat prin vaporizator și fierbător se poate admite că temperatura maximă de fierbere t_2

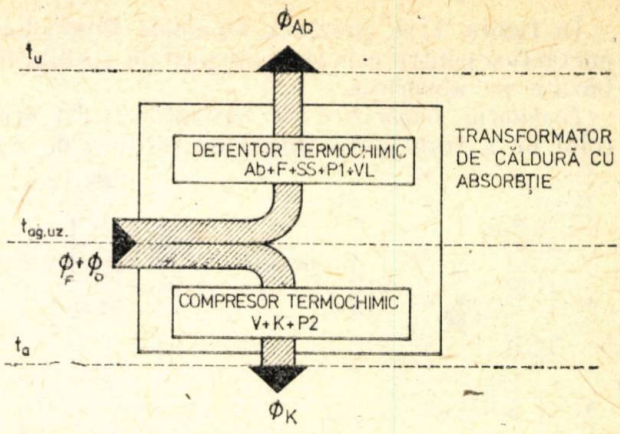


Fig. 4.

este egală cu temperatura de vaporizare t_0. În starea 2 corespunde concentrația ξ_c și impunînd o valoare pentru zona de degazare $\Delta\xi$ se determină concentrația ξ_d a soluției diluate, $\xi_d = \xi_c - \Delta\xi$. Prin starea 1 se determină temperatura soluției la ieșirea din absorbitor. Temperatura agentului cald preparat (apă sau abur) s-a presupus că este t_u, $t_u = t_1 - 5°C$.

Calculul termic se efectuează prin metoda propusă de autor în [3, 4]. Se neglijează creșterea entalpiei în pompe și se presupun cunoscute sarcina absorbitorului Φ_{Ab} și starea 1a ($t_{1a} > t_2$).

$k = 2$, numărul de componenți (apa și bromura de litiu);

$n = n_e = 2$, numărul de noduri (ambele de tip energetic)

Ab și F;

$n' = l_2 = 1$, noduri distincte de ordinul 2, Ab sau F;

$s = 3$, aparate de tipul „s" (prin suprafață), V, K și SS.

Se determină numărul de ecuații distincte de bilanț de materiale și de bilanț energetic:

$$n_t = 2 \cdot l_2 + n_e + s = 2 \cdot 1 + 2 + 3 = 7 \text{ ecuații.}$$

Mărimile necunoscute: $\dot{m}_1$, $\dot{m}_2$, $\dot{m}_3$, i_{2a}, Φ_0, Φ_F și Φ_k se determină astfel:

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 + \dot{m}_3 \qquad \text{ec.b.m.pe Ab} \qquad (1)$$

$$\dot{m}_1 \xi_d = \dot{m}_2 \xi_c \qquad \text{ec.b.m.LiBr pe Ab} \qquad (2)$$

$$\Phi_{Ab} = \dot{m}_2 i_{2a} + \dot{m}_3 i_6 - \dot{m}_1 i_1 \qquad \text{ec.b.t.peAb} \qquad (3)$$

$$\longrightarrow \left.\begin{matrix} \dot{m}_1 \\ \dot{m}_2 \\ \dot{m}_3 \end{matrix}\right\}$$

$\dot{m}_1(i_1-i_{1a})=\dot{m}_2(i_{2a}-i_{2'})$ ec.b.t. pe SS (4)$\rightarrow i_{2a}$

$\Phi_F=\dot{m}_3 i_3+\dot{m}_2 i_2-\dot{m}_1 i_1$, ec.b.t. pe F (5)$\rightarrow\Phi_F$

$\Phi_0=\dot{m}_3(i_6-i_{4'})$ ec.b.t. pe V (6)$\rightarrow\Phi_0$

$\Phi_k=\dot{m}_3(i_3-i_{4'})$ ec.b.t. pe K (7)$\rightarrow\Phi_k$

Pe baza primului principiu al termodinamicii se introduce noţiunea de *eficienţă a transformatorului de căldură* (sau coeficient de pompare a căldurii), definită prin raportul:

$$\zeta=\frac{\Phi_A}{\Phi_0+\Phi_F}, \tag{8}$$

Un criteriu mai important decît eficienţa este randamentul exergetic prin care se ţine seama nu numai de valoarea fluxurilor de căldură, ci şi de nivelul lor termic, definit astfel:

$$\eta_{ex}=\frac{Ex_{\Phi_{Ab}}}{Ex_{\Phi_0}+Ex_{\Phi_F}}=$$

$$=\frac{\Phi_{Ab}\left(1-\dfrac{T_a}{T_{Abm}}\right)}{\Phi_0\left(1-\dfrac{T_a}{T_0}\right)+\Phi_F\left(1-\dfrac{T_a}{T_{Fm}}\right)}, \tag{9}$$

unde:

$Ex_{\Phi_{Ab}}, Ex_{\Phi_0}, Ex_{\Phi_F}$ reprezintă fluxurile de exergie corespunzătoare sarcinilor termice Φ_{Ab}, Φ_0 şi Φ_F;

T_{Abm} T_{Fm} — temperaturile medii în soluţie în absorbitor şi în fierbător;

$$T_{Abm}=0{,}5\,(T_1+T_{2a}),\ T_{Fm}=0{,}5\,(T_2+T_{1'}); \tag{10}$$

T_0 — temperatura de vaporizare.

3. Transformatorul de căldură cu resorbţie, cu soluţie de bromură de litiu-apă

Această instalaţie se deosebeşte de cea cu absorbţie deoarece în locul vaporizatorului apare fierbătorul F2, iar locul condensatorului este luat de resorbitorul Res (fig. 5).

Compresorul termochimic în cadrul căruia se realizează un ciclu motor (3 — 3a — 8 — 8a în soluţie) cuprinde: fierbătorul F2, resorbitorul Res, regeneratorul SS2, pompa P2 şi ventilul de laminare VL2.

Detentorul termochimic în cadrul căruia se asigură ridicarea potenţialului termic al fluxului de căldură Φ_{Ab} cuprinde: fierbătorul F1

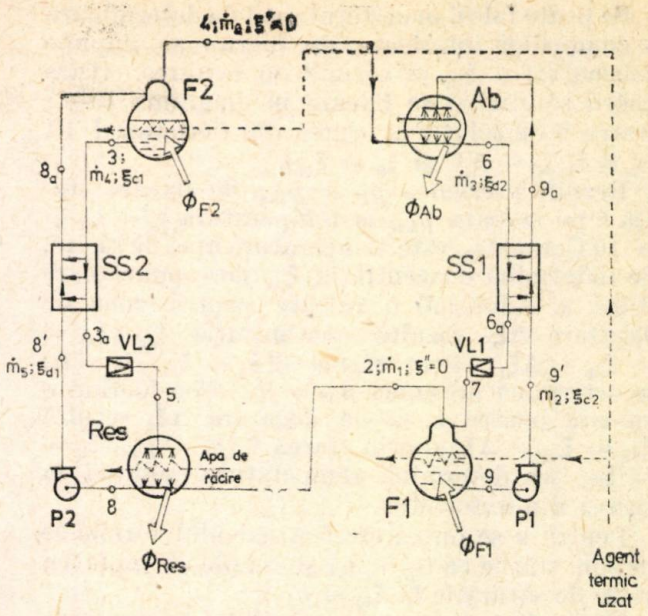


Fig. 5.

de joasă presiune, absorbitorul Ab (în care se obţine efectul util reprezentat prin fluxul Φ_{Ab} la temperaturi ridicate), regeneratorul SS1, pompa P1 şi ventilul de laminare VL1.

Presiunile de lucru $p_{Ab}=p_{F2}$ şi $p_{Res}=p_{F1}$ nu mai sînt determinate de condiţiile exterioare de lucru şi pot fi considerate variabile în anumite limite, astfel încît instalaţia cu resorbţie se caracterizează prin mai multe grade de libertate faţă de cea cu absorbţie, ceea ce constituie un avantaj fiind posibilă optimizarea parametrilor funcţionali [1]. Pe de altă parte, presiunile de lucru sînt mai mici la această instalaţie (fig. 6) decît la cea cu absorbţie, ceea ce reprezintă un inconvenient în cazul soluţiei de bromură de litiu-apă la care presiunile sînt sub presiunea atmosferică (pentru $t_{ag.mz.}<100°C$).

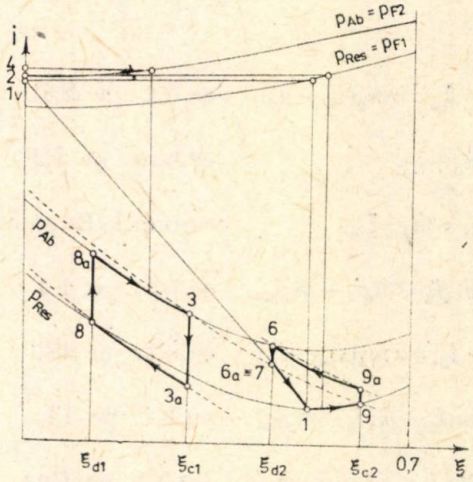


Fig. 6.

Se poate folosi următorul mod de determinare a condițiilor interioare de lucru : se impune concentrația ξ_{c2} urmărindu-se evitarea cristalizării soluției și se fixează în diagrama $i - \xi$ starea 9 de soluție la ieșirea din fierbătorul F1 ($t_9 = t_{ag.uz.} - 5°C$ și $\xi_9 = \xi_{c2}$).

Rezultă presiunea $p_{F1} = p_{Res}$. Se fixează starea 8 pe izobara p_{Res} la temperatura $t_8 = t_{ai} + 10°C$, unde t_{ai} este temperatura apei de răcire. Se determină concentrația ξ_{d1} corespunzătoare stării 8. Admițînd o valoare pentru zona de degazare $\Delta\xi_1$ rezultă concentrația ξ_{c1} ($\xi_{c1} = \xi_{d1} + \Delta\xi_1$). Prin starea 3($\xi_3 = \xi_{c1}$, $t_3 = t_9$) se determină presiunea $p_{Ab} = p_{F2}$. Considerînd o valoare pentru zona de degazare $\Delta\xi_2$ rezultă $\xi_{d2} = \xi_{c2} - \Delta\xi_2$ și prin starea 6 ($p_6 = p_{Fe}$, $\xi_6 = \xi_{d2}$) se determină temperatura soluției la ieșirea din absorbitor.

Pentru a se putea efectua calculul termic se impun stările 6a ($t_{6a} < t_9$) și 8a (de exemplu ca stare de saturație la ξ_{d1} și p_{F2}).

Mărimile caracteristice calculului termic, conform [4], sînt :

$k = 2$, apa și bromura de litiu ;

$n = n_e = 4$, F1, Res, Ab și F2 ;

$n' = l_2 = 2$, Ab sau F1, F2 sau Res

$s = 2$, SS1 și SS2

Rezultă : $n_t = 2l_2 + n_e + s = 2 \cdot 2 + 4 + 2 = 10$ ecuații.

Mărimile necunoscute : $\dot{m}_1 = \dot{m}_6$, $\dot{m}_2$, $\dot{m}_3$, $\dot{m}_4$, $\dot{m}_5$, i_{9a}, i_{3a}, Φ_{F1}, Φ_{Res} și Φ_{F2} se determină astfel :

$$\dot{m}_2 + \dot{m}_6 = \dot{m}_3 \qquad \text{ec.b.m. pe Ab} \qquad (11)$$

$$\dot{m}_2 \cdot \xi_{c2} = \dot{m}_3 \xi_{d2} \qquad \text{ec.b.m.LiBr pe Ab} \qquad (12)$$

$$\Phi_{Ab} = \dot{m}_2 i_{9a} + \dot{m}_6 i_4 - \dot{m}_3 i_6 \qquad \text{ec.b.t. pe Ab} \qquad (13)$$

$$\left.\begin{array}{l} \longrightarrow \dot{m}_1 = \dot{m}_6 \\ \dot{m}_2 \\ \dot{m}_3 \end{array}\right\}$$

$$\dot{m}_3(i_6 - i_{6a}) = \dot{m}_2(i_{9a} - i_9) \qquad \text{ec.b.t. pe SS1} \qquad (14)$$
$$\rightarrow i_{9a}$$

$$\dot{m}_5 = \dot{m}_6 + \dot{m}_4 \qquad \text{ec.b.m. pe F2} \qquad (15)$$
$$\rightarrow \dot{m}_4$$

$$\dot{m}_5 \cdot \xi_{d1} = \dot{m}_4 \cdot \xi_{c1} \qquad \text{ec.b.m.LiBr pe F2} \qquad (16)$$
$$\rightarrow \dot{m}_5$$

$$\Phi_{F2} = \dot{m}_4 i_3 + \dot{m}_6 i_4 - \dot{m}_5 i_{8a} \qquad \text{ec.b.t. pe F2} \qquad (17)$$
$$\rightarrow \Phi_{F2}$$

$$\dot{m}_4(i_3 - i_{3a}) = \dot{m}_5(i_{8a} - i_8) \qquad \text{ec.b.t. pe SS2} \qquad (18)$$
$$\rightarrow i_{3a}$$

$$\Phi_{F1} = \dot{m}_1 i_2 + \dot{m}_2 i_9 - m_3 i_{6a} \qquad \text{ec.b.t. pe Fl} \qquad (19)$$
$$\rightarrow \Phi_{F1}$$

$$\Phi_{Res} = \dot{m}_1 i_2 + \dot{m}_4 i_{3a} - \dot{m}_5 i_8 \qquad \text{ec.b.t. pe Res} \qquad (20)$$
$$\rightarrow \Phi_{Res}$$

Fierbătoarele transformatoarelor de căldură cu absorbție sau cu resorbție cu bromură de litiu-apă nu sînt prevăzute cu coloane de rectificare, deoarece în procesul de degazare a soluției trece în stare de vapori numai apa, care constituie componentul ușor volatil.

Din studiile efectuate [1, 6] a rezultat că, în aceleași condiții de lucru (aceleași temperaturi ale apei de răcire și ale agentului termic uzat) se obțin valori mai mici ale temperaturii t_u în fluidul cald preparat în cazul acestei instalații cu resorbție în raport cu instalația cu absorbție.

Singurul avantaj al instalației cu resorbție îl constituie posibilitatea de amplasare cît mai convenabilă a zonei de degazare ($\xi_{c2} - \xi_{d2}$), urmărindu-se realizarea unei temperaturi t_6 cît mai ridicate și evitarea fenomenului de cristalizare.

4. Transformatorul de căldură cu absorbție, cu soluție amoniacală

În figura 7 se prezintă schema de principiu, iar în figura 8 este reprezentat procesul în diagramele $i - \xi$ și $\lg p - i$.

Generatorul de vapori GV cuprinde fierbătorul F și o coloană de epuizare CE (aparat de schimb de căldură și de masă de tip regenerativ)

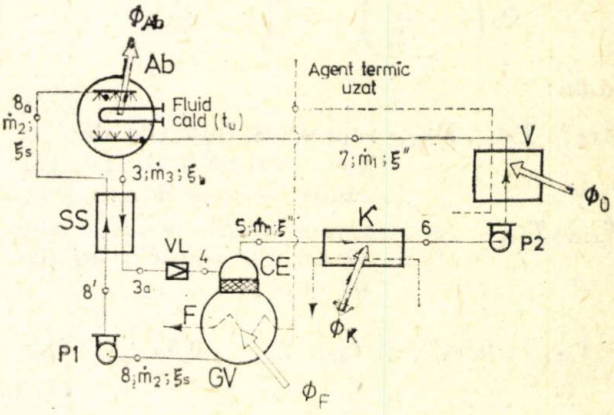


Fig. 7.

în care, cu ajutorul soluției de concentrație ξ_b se poate asigura obținerea unor vapori cu concentrație foarte mare ($\xi'' = 1$), deoarece zona de degazare este plasată în domeniul concentrațiilor mari.

Comprimarea vaporilor între stările 5 și 7 se realizează în ansamblul K, V și P2. Detentorul termochimic este format din ansamblul GV, Ab, SS, P1 și VL.

Presiunile de lucru se determină astfel :

— temperatura apei (sau aerului) de răcire determină temperatura t_k la care pentru amoniac (componentul ușor volatil) corespunde presiunea de saturație p_k, cu valori ridicate ($p_k = 9 \ldots 13$ bar) ;

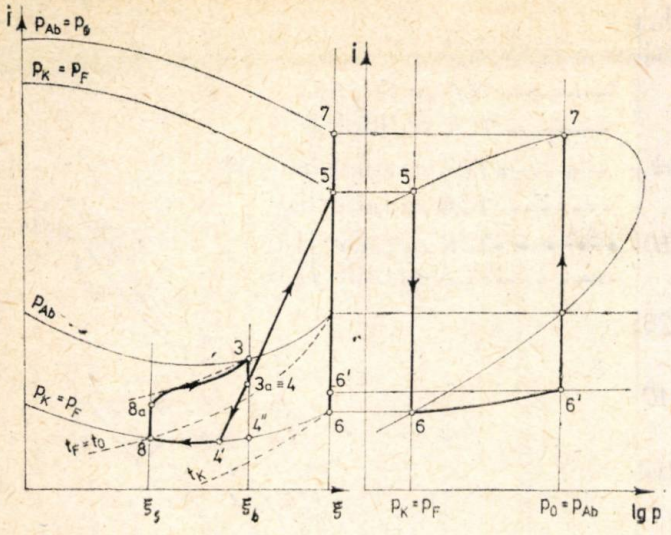


Fig. 8.

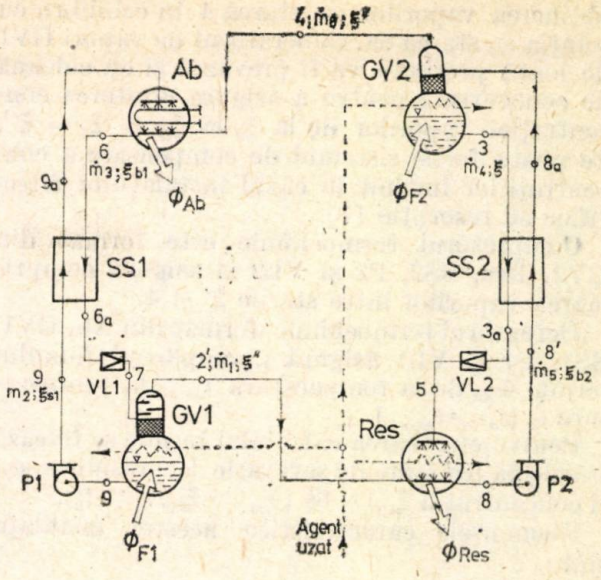


Fig. 9.

— temperatura agentului uzat folosit determină temperatura de vaporizare t_0, la care corespunde pentru amoniac presiunea de saturație p_0 ($p_0 > p_k$).

Se observă că transformatorul de căldură cu soluție amoniacală se caracterizează prin presiuni ridicate, ceea ce constituie un inconvenient.

O astfel de instalație poate valorifica sursele termice de potențial scăzut ($t_{ag.uz.} = 45 \ldots 55°C$) și ca urmare saltul de temperatură ($t_u - t_F$) este corespunzător scăzut ($t_u = 60 \ldots 85°C$).

Pentru efectuarea calculului termic se presupune cunoscută sarcina termică utilă Φ_{Ab}. Se impune starea 3a prin temperatură ($t_{3a} > t_F$) ca și în cazul instalațiilor frigorifice cu resorbție [5]. Neglijînd variația entalpiei în pompele P1 și P2, rezultă:

$k = 2$, apa și amoniacul;

$n = 2$, Ab și GV;

$n' = l_2 = 1$, Ab sau GV

$n_e = 2$, Ab și GV

$s = 3$, SS, K și V

$n_l = 2 \cdot l_2 + n_e + s = 2 + 2 + 3 = 7$ ecuații.

Se pot determina mărimile necunoscute: $\dot{m}_1$, $\dot{m}_2$, $\dot{m}_3$, i_{8a}, Φ_k, Φ_F și Φ_0.

5. Transformatorul de căldură cu resorbție, cu soluție amoniacală

Schema de principiu este prezentată în figura 9, iar procesul de lucru este redat în diagrama $i - \xi$ din figura 10.

Presiunile de lucru au valori mai scăzute decît cele de la instalația cu absorbție, ceea ce constituie un avantaj în cazul soluției amoniacale. În plus, presiunile $p_{Ab} = p_{F2}$ și $p_{Res} = p_{F1}$ nu mai sînt determinate riguros de condițiile exterioare și pot fi considerate ca parametri în vederea optimizării.

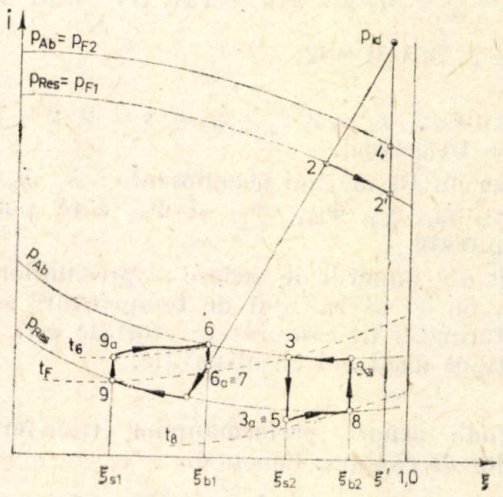


Fig. 10.

Temperatura t_8 este determinată de apa de răcire, iar în cazul circulației în paralel a agentului termic uzat prin aparatele GV1 și GV2 se poate admite că $t_3 = t_9$. Dacă se alege o valoare pentru p_{Res}, prin starea 8 cunoscută se determină ξ_{b2} și apoi se calculează $\xi_{s2} = \xi_{b2} - \Delta\xi_2$, unde zona de degazare $\Delta\xi_2$ se adoptă. Prin starea 3 ($\xi_3 = \xi_{s2}$ și $t_3 = t_{ag.uz} - \Delta t$) se determină presiunea $p_{Ab} = p_{F2}$. Impunînd ξ_{b1} ($\xi_{b1} = \xi_{s1} + \Delta\xi_1$) rezultă temperatura soluției în starea 6.

Generatorul de vapori GV2 de înaltă presiune este echipat cu coloană de epuizare care asigură

obținerea vaporilor cu starea 4 în echilibru cu soluția cu starea 8a. Generatorul de vapori GV1 de joasă presiune va fi prevăzut și cu coloană de concentrare pentru a asigura creșterea concentrației vaporilor de la ξ_2 la $\xi_{2'} = \xi_4 = \xi''$. Se poate folosi sistemul de compensare a concentrațiilor întîlnit în cazul instalațiilor frigorifice cu resorbție [7].

Compresorul termochimic este format din GV2, Res, SS2, P2 și VL2 și asigură comprimarea vaporilor între stările 2' și 4.

Detentorul termochimic, format din Ab, GV1, SS1, P1 și VL1 asigură „pomparea" fluxului termic Φ_{Ab} de la temperatura $t_{ag.uz.}$ la temperatura t_u ($t_u > t_{ag.uz.}$).

Pentru efectuarea calculului termic se fixează stările 8a (ca stare de saturație la presiunea p_{Ab} și concentrația ξ_{b2}) și 6a ($\xi_{6a} = \xi_{b1}$, $t_6 > t_9$).

Elementele caracteristice acestei instalații sînt :

$n = n_e = 4$, Ab, GV1, Res și GV2 ;

$n' = l_2 = 2$, Ab sau GV1, GV2 sau Res;

$s = 2$, SS1 și SS2.

Rezultă : $n_t = 2 \cdot l_2 + n_e + s = 2 \cdot 2 + 4 + 2 = 10$ ecuații.

Intervin 10 mărimi necunoscute : $\dot{m}_1$, $\dot{m}_2$, $\dot{m}_3$ $\dot{m}_4$, $\dot{m}_5$, i_{9a}, i_{3a}, Φ_{Res}, Φ_{F1} și Φ_{F2} care pot fi determinate.

Atît din punctul de vedere al presiunilor de lucru, cît și al saltului de temperatură acest transformator de căldură cu resorbție este mai avantajos decît cel cu absorbție.

6. Studii asupra performanțelor transformatoarelor de căldură. Concluzii

Rolul transformatorului de căldură fiind acela de a ridica potențialul termic al fluxurilor de căldură disponibile se urmărește ca saltul între temperatura agentului uzat $t_{ag.uz.}$ și temperatura t_u a fluidului cald obținut să fie cît mai mare.

În figura 11 se prezintă dependenta $t_u(t_{ag.uz.})$ pentru transformatoarele de căldură studiate în lucrarea de față, pentru zone de degazare de 6%, desprinzîndu-se unele concluzii foarte importante :

a) transformatorul de căldură cu absorbție cu soluție amoniacală poate folosi surse termice cu temperaturi $t_{ag.uz} = 45 \ldots 55$°C cînd se dispune de apă de răcire cu temperaturi coborîte (în sezonul rece), iar saltul de temperatură ($t_u - t_{ag.uz.}$) nu este mare. Această instalație nu este recomandată atît din cauza presiunilor mari, cît și datorită toxicității amoniacului ;

b) transformatorul de căldură cu resorbție cu soluție amoniacală permite valorificarea surselor termice cu potențial între 80 ... 90°C,

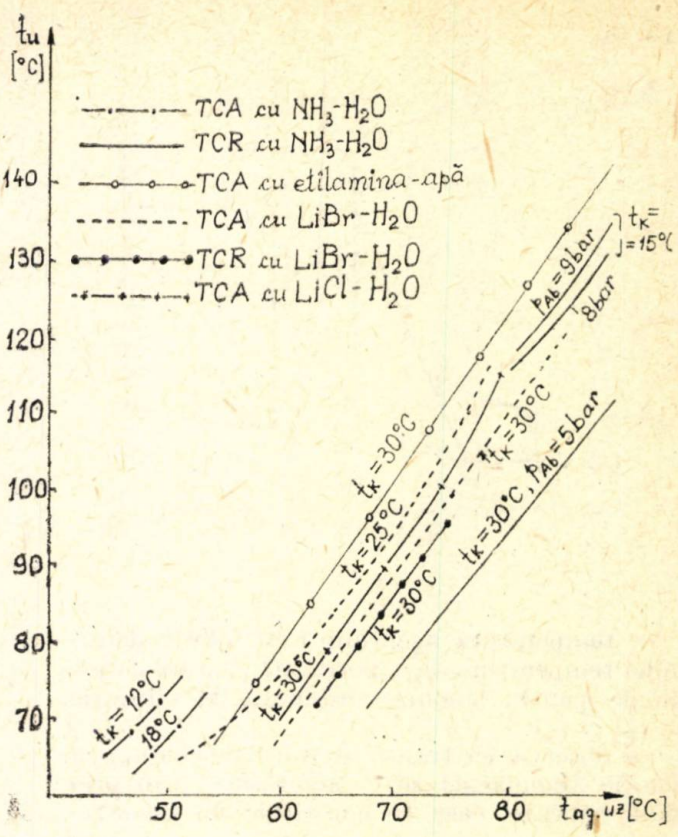


Fig. 11.

obținîndu-se temperaturi $t_u = 110 \ldots 130$°C pentru $t_k = 15$°C. Presiunile de lucru sînt convenabile din punct de vedere tehnic ($p_F = 8 \ldots 9$ bar). Se observă că în sezonul cald, cînd $t_k = 30$°C, saltul de temperatură este corespunzător mai mic;

c) utilizarea soluției de etilamină — apă în locul soluției amoniacale în cadrul instalației cu absorbție prezintă o serie de avantaje : folosirea unor surse cu temperaturi în limite largi, realizarea unui salt ($t_u - t_{ag.uz.}$) foarte bun și presiuni de lucru bune (mai mici decît la soluția amoniacală) ;

d) transformatorul de căldură cu absorbție cu soluție de bromură de litiu — apă permite valorificarea surselor termice cu temperaturi în limite largi, $t_{ag.uz} = 50 \ldots 100$°C și realizează un salt bun de temperatură. Instalația prezintă dezavantajul că lucrează în vacuum, ceea ce favorizează pătrunderea aerului din exterior;

e) transformatorul de căldură cu resorbție cu soluție de bromură de litiu-apă realizează un salt mai mic de temperatură decît cel cu absorbție și, în plus, presiunile de lucru sînt mai scăzute ;

f) clorura de litiu-apă se comportă mai bine decît bromura de litiu-apă, asigurînd un salt mai mare de temperatură.

Bibliografie

[1] Gabsi, S., Prevost, M., Bugarel, R. *Performances des transformateurs de chaleur er des pompes à chaleur à resorption.* In: Rev. Gén. Therm., Franţa, nr. 266, février, 1984.

[2] Kakabadze, V. S., Bezirişvali, K. O. *Kompleksnoe ispolizovanie geotermalinth vod dlia teplohladosnabjenia ciainoi fabriki.* In: Holodilinaia tehnika, nr. 3, 1986.

[3] Porneală, S. *Procese în instalaţii frigorifice: absorbţie-ejecţie,* Universitatea din Galaţi, 1981.

[4] Porneală, S. *Calculul termic al instalaţiilor termoenergetice.* In: Revista de chimie, 27, nr. 3, 1976, p. 223.

[5] Porneală, S. *Unele consideraţii asupra instalaţiilor frigorifice cu resorbţie.* În: Revista de chimie, 33, nr. 8, 1982.

[6] Porneală, S. *Transformatoare de căldură cu absorbţie şi cu resorbţie.* A XIV-a Consfătuire a termoenergeticienilor din România, Braşov, dec. 1987.

[7] Porneală, S. *Types et les limites de fonctionnement de l'installation frigorifiques à résorption,* Analele Universităţii din Galaţi, 1985.

[8] Porneală, S. *Economisirea şi gospodărirea energiei în cadrul instalaţiilor frigorifice.* În: ENERG 4, Editura Tehnică, Bucureşti, 1987.

[9] Radcenco, Vs., Porneală, S., Dobrovicescu, Al. *Procese în instalaţii frigorifice.* Editura Didactică şi Pedagogică, Bucureşti, 1983.

[10] Renon, H. *Transformateur à absorption.* Brevet de invenţie nr. 7831802 (nr. de publicare 2441135).

[11] Wilkinson, W. şi Hanna, W. *Process and system for boosting the temperature of sensible waste heat sources.* Brevet de invenţie nr. 4333515, 1982.

(Primit la 9 septembrie 1988, acceptat la 11 martie 1989)

NOUTĂŢI

Din energetica mondială

AL 17-LEA CONGRES MONDIAL PENTRU GAZELE NATURALE

În iunie 1988 a avut loc la Washington al 17-lea Congres mondial pentru gazele naturale.

Tema principală a acestui forum a fost utilizarea raţională a gazelor combustibile, elaborarea metodelor de ardere cu formarea minimă de substanţe toxice, problemele extracţiei, ale transportului şi distribuţiei.

De activitatea tehnică a Uniunii Internaţionale pentru Gazele Naturale răspund 10 comitete permanente, care au prezentat la Congres cîte un raport. Au mai fost dezbătute 72 referate, elaborate de diverşi autori, din diferite ţări.

Iată cîteva titluri ale celor mai actuale referate:

- *Utilizarea calculatoarelor electronice la distribuţia gazelor* (Comitetul A)
- *Dezvoltarea industriei gazelor naturale în ţările dezvoltate* (Grupa bancară mondială)
- *Întreţinerea şi repararea conductelor subterane de transport al gazelor naturale* (Comitetul C)
- *Rolul gazelor lichide în dezvoltarea industriei mondiale a gazelor* (Comitetul H)
- *Gazele naturale pentru automobile* (Comitetul F)

În programul Congresului a fost înscris şi un colocviu în probleme de marketing internaţional în domeniul gazelor naturale, sub titlul: *Comerţul cu gaze naturale — tehnologie modernă răspunzînd cerinţelor consumatorilor moderni.* La expoziţia tehnicii gazelor au fost prezentate peste 300 exponate, provenite din diferite ţări.

(Din: Gazovaia promişlennosti, nr. 5/1988)

SUGESTII PENTRU COMPENSAREA CO_2

O sugestie pentru compensarea bioxidului de carbon eliminat în atmosferă de industrie constă în a planta mai mulţi arbori care consumă CO_2. Un exemplu este dat de antrepriza americană de construcţii de centrale electrice „*Applied Energy Services*" (AES) al cărei plan constă în a compensa efectele emisiunilor de CO_2 ale unei noi centrale în curs de construire în Guatemala prin plantarea unei păduri care să absoarbă gazul carbonic. După o informaţie din *New Scientist* (oct. 1988) centrala ar emite circa 387000 tone de CO_2 în fiecare an; durata de existenţă a centralei se consideră a fi de 40 ani. AES apreciază că arborii plantaţi vor absorbi o cantitate cel puţin echivalentă de CO_2 din atmosferă, pe care o va stoca sub formă de carbon în lemn sau în pămînt.

După un raport al Departamentului Energiei din S.U.A 7 milioane de km² de păduri noi ar fi suficienţi pentru a absoarbe toată cantitatea de bioxid de carbon rezultată în urma folosirii de către om, prin ardere, a combustibililor fosili. Din păcate, această suprafaţă ar corespunde teritoriului Statelor Unite fără Alaska.

Totuşi, a planta arbori ar fi un bun prilej pentru a da lumii timpul necesar pentru a respira pe durata studierii altor soluţii.

(Din: Forum du Developpement, nr. 139, ian—feb. 1989

Contribuții la creșterea observabilității și controlabilității calității energiei electrice

Dr. ing. ALEXANDRU POEATĂ, ing. VIOLETA ȚĂRANU, ing. RADU SILION, ing. OVIDIU DIACONU, dr. ing. GHEORGHE GEORGESCU, dr. ing. VIRGIL ALEXANDRESCU*

Descriptori: calitate, energie electrică

Se corelează „calitatea energiei electrice" cu „calitatea sistemului energetic". Punînd în evidență efectele economice ale abaterii valorii unor indicatori de calitate de la valorile normate, autorii subliniază necesitatea creșterii gradului de observabilitate și controlabilitate a calității energiei. Se prezintă evoluția tehnicii în acest domeniu și ultimele realizări bazate pe utilizarea microprocesoarelor.

"The electric energy quality" is correlated to "the power system quality". Outlining the economical effects engendered by the drifting from the standardized values of some quality indeces values, the authors underline the necessity to increase the energy quality observability and controllability. The technical development in this field is presented, as well as the latest achievements of microprocessors application.

Considerații generale

În mod curent, calitatea energiei electrice este apreciată prin limitele abaterii de la valoarea nominală a nivelului tensiunii, a frecvenței, a gradului de nesimetrie, a conținutului în armonici a undei de tensiune etc. Fără să epuizăm problema indicatorilor de calitate a energiei electrice, subliniem că, în prezent, gama acestor indicatori este mult mai extinsă. De exemplu, factorul de putere al energiei cerute de un consumator, forma graficului de sarcină, gradul de continuitate în alimentarea cu energie electrică etc. constituie, de asemenea, indicatori ai calității energiei electrice livrată consumatorilor.

Calitatea energiei electrice este condiționată de caracteristicile tehnice ale echipamentelor electroenergetice de bază (de producere, transport și distribuție a energiei electrice), ale instalațiilor secundare (de compensare, filtrare, simetrizare etc.) și auxiliare (de reglaj, protecție și automatizare), de regimul de funcționare, atît a sistemului de producere, transport și distribuție a energiei electrice, cît și a consumatorilor. Între indicatorii de calitate a energiei electrice și cei referitori la calitatea sistemului de producere, transport și utilizare a energiei electrice există o strînsă corelație. Atîta timp cît cota energiei electrice din energia totală consumată era redusă, deci și extinderea instalațiilor electroenergetice, analiza indicatorilor optimi de calitate a energiei electrice nu prezenta un interes deosebit (decît doar din punct de vedere tehnic). Odată cu creșterea cotei energiei electrice utilizate, efectele abaterii calității energiei electrice de la valorile optime, precum și costul instalațiilor primare, secundare și auxiliare cresc în mod corespunzător. În tabelul 1 se prezintă valorile daunelor provocate de abaterile frecvenței de la valoarea nominală, după [4], raportate la costul unui kilowatt-oră produs în sistem. În tabelul 2 sînt prezentate valorile medii ale unui kilowat-oră nelivrat, adoptate de diverse țări la efectuarea calculelor de siguranță [5].

Tabelul 1

Frecvența, Hz	50	49,5	49	48,5	48	47,5	47
Dauna pe kWh	0	0,2	0,3	1,3	1,6	2,2	2,5
Costul unui kWh produs de sistem							

Tabelul 2

Țara	Costul mediu al unui kWh nelivrat	Cost 1 kWh nelivrat / Cost 1 kWh produs în sistem
S.U.A.	1,05 dolar/kWh	50—60
Franța	7,3 franci/kWh (1980)	20—30
Italia	1 dolar/kWh (1979)	
Suedia	2,5 dolar/kWh (1979)	
U.R.S.S.	0,6 ruble/kWh	50—60

* Dr. ing. Alexandru Poeată, ing. Radu Silion, ing. Ovidiu Diaconu, dr. ing. Gheorghe Georgescu, dr. ing. Virgil Alexandrescu — Facultatea de Electrotehnică, I. P. Iași, ing. Violeta Țăranu — Centrul de Calcul I. P. Iași.

Date similare există în literatura tehnică și pentru ceilalți indicatori de calitate a energiei electrice. Din consultarea acestora reiese atît faptul că daunele provocate de abaterea indicatorilor de calitate de la valorile nominale sînt mari, precum și faptul că au valori diferite în funcție de structura sistemului energetic.

Determinarea soluțiilor optime din punct de vedere tehnico-economic privind structura sistemului energetic — gradul de înzestrare tehnică destinată ameliorării indicatorilor de calitate a energiei electrice și, deci, a reducerii daunelor provocate de calitatea necorespunzătoare a energiei electrice — este o problemă foarte complexă. În această direcție s-au elaborat, pînă în prezent, o serie de modele matematice care permit determinarea optimului real al valorilor indicatorilor de calitate și al dimensiunilor instalațiilor secundare. Pentru utilizarea acestor modele este însă necesară identificarea valorilor reale ale parametrilor care intră în componența lor. Aceasta este o problemă de natură informațională asupra căreia trebuie îndreptate eforturile de cercetare.

1. Observabilitatea și controlabilitatea calității energiei electrice

Observabilitatea în domeniul calității energiei electrice presupune existența unui complex de mijloace de măsurare și metode de calcul al indicatorilor de calitate și efectelor tehnico-economice ale înrăutățirii calității energiei electrice.

Controlabilitatea calității energiei electrice într-un sistem energetic este asigurată atunci cînd sistemul dispune de instalații de bază, secundare și auxiliare, corect dimensionate și judicios amplasate.

Aparatura de măsurare a valorilor indicatorilor de calitate a energiei electrice a evoluat în timp, pe de o parte, din necesitatea obținerii unor informații mai complete, pe de altă parte, datorită dezvoltării tehnicilor noi de măsurare. De exemplu, pentru optimizarea nivelului tensiunii pe baza criteriului integral sînt necesare măsurători de durată și prelucrări statistice în vederea stabilirii valorilor medii, a dispersiei și iregularității [1, 6]. În acest scop, s-au folosit inițial voltmetre înregistratoare, iar apoi voltmetre statistice [7]. Deși voltmetrele statistice reduc volumul de muncă pentru prelucrarea informațiilor, ele n-au căpătat o extindere largă, deoarece, după clasarea automată a nivelurilor de tensiune pe diferite intervale, necesită încă o muncă laborioasă pînă la obținerea rezultatelor finale. Același lucru se poate exemplifica și în cazul determinării parametrilor graficelor de sarcină cu ajutorul aparatelor înregistratoare sau ulterior, cu ajutorul contorului de pierderi [8].

În prezent, dezvoltarea industriei electronice, apariția microprocesoarelor și extinderea utilizării lor fac posibilă realizarea unor aparate de măsură specializate (microsisteme) pentru indicatorii de calitate a energiei electrice. Astfel, în literatura de specialitate au apărut informații asupra performanțelor unor asemenea aparate specializate pentru evaluarea indicatorilor de calitate a energiei electrice (valori instantanee și statistice) [3]. Aceste microsisteme oferă avantajul măsurării, înregistrării și prelucrării automate a mai multor indicatori de calitate ; de asemenea, prin modificări neesențiale (module interschimbabile, înlocuire sau modificare soft etc.) pot fi utilizate și pentru evaluarea altor indicatori și a altor informații.

2. Microsistem specializat pentru analiza calității energiei electrice

Avînd în vedere cele menționate mai sus, autorii prezentei lucrări și-au propus realizarea unui microsistem specializat pentru analiza calității energiei electrice atît în diverse noduri ale sistemului electroenergetic, cît și la consumatori. Existența unui asemenea mijloc de urmărire a calității energiei electrice permite obținerea informațiilor asupra calității în mod expeditiv, în locul dorit și în perioada de timp prestabilită. Informațiile obținute cu ajutorul microsistemului se pot utiliza la perfecționarea normelor de calitate a energiei electrice, la dimensionarea corectă și amplasarea judicioasă a instalațiilor de ameliorare a calității, la stabilirea condițiilor reale de exploatare și dezvoltare ale sistemului electroenergetic.

Microsistemul permite obținerea valorilor instantanee ale indicatorilor de calitate, precum și ale indicatorilor integrali de analiză a calității energiei electrice. Microsistemul realizat analizează calitatea energiei electrice prin prisma a trei indicatori de calitate : abaterea tensiunii, abaterea frecvenței și coeficientul de nesimetrie, extinderea gamei indicatorilor luați în considerare putîndu-se efectua fără dificultate. Panoul frontal al microsistemului este înfățișat în figura 1.

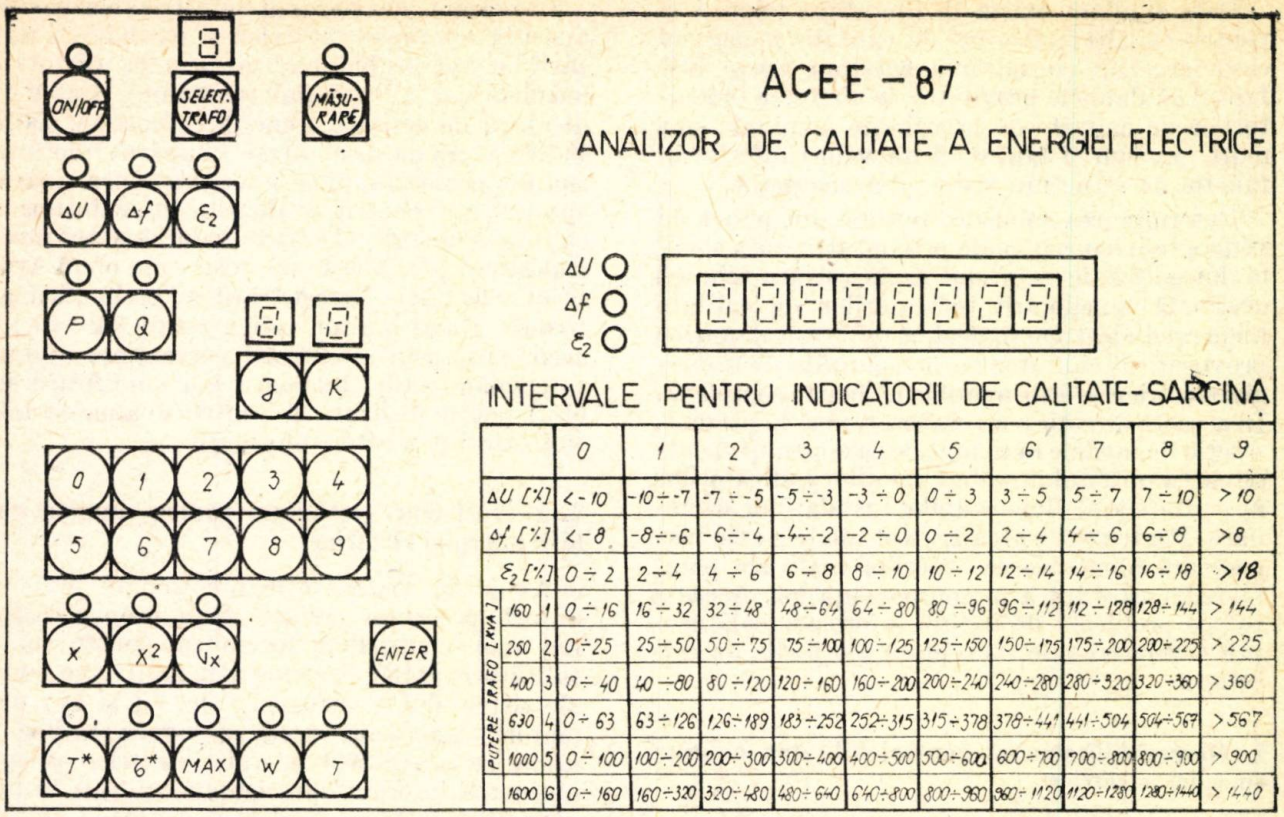
2.1. *Intrările și ieșirile microsistemului*

Conectat pe bara de joasă tensiune a postului de transformare, microsistemul realizat acceptă la intrare următoarele mărimi (date de intrare) :

— tensiunile de linie U_{AB}, U_{BC}, U_{AC} (V);
— frecvența rețelei, f (Hz);
— sarcina activă, P (kW);
— sarcina reactivă, Q (kvar).

Funcționarea microsistemului cuprinde două etape distincte :

a) *etapa de măsurare* — etapă în care, la intervale egale de timp (un minut), sînt evaluate cele



INTERVALE PENTRU INDICATORII DE CALITATE-SARCINA

			0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
ΔU [%]			< -10	-10 ÷ -7	-7 ÷ -5	-5 ÷ -3	-3 ÷ 0	0 ÷ 3	3 ÷ 5	5 ÷ 7	7 ÷ 10	> 10
Δf [%]			< -8	-8 ÷ -6	-6 ÷ -4	-4 ÷ -2	-2 ÷ 0	0 ÷ 2	2 ÷ 4	4 ÷ 6	6 ÷ 8	> 8
ε2 [%]			0 ÷ 2	2 ÷ 4	4 ÷ 6	6 ÷ 8	8 ÷ 10	10 ÷ 12	12 ÷ 14	14 ÷ 16	16 ÷ 18	> 18
PUTERE TRAFO [kVA]	160	1	0 ÷ 16	16 ÷ 32	32 ÷ 48	48 ÷ 64	64 ÷ 80	80 ÷ 96	96 ÷ 112	112 ÷ 128	128 ÷ 144	> 144
	250	2	0 ÷ 25	25 ÷ 50	50 ÷ 75	75 ÷ 100	100 ÷ 125	125 ÷ 150	150 ÷ 175	175 ÷ 200	200 ÷ 225	> 225
	400	3	0 ÷ 40	40 ÷ 80	80 ÷ 120	120 ÷ 160	160 ÷ 200	200 ÷ 240	240 ÷ 280	280 ÷ 320	320 ÷ 360	> 360
	630	4	0 ÷ 63	63 ÷ 126	126 ÷ 189	183 ÷ 252	252 ÷ 315	315 ÷ 378	378 ÷ 441	441 ÷ 504	504 ÷ 567	> 567
	1000	5	0 ÷ 100	100 ÷ 200	200 ÷ 300	300 ÷ 400	400 ÷ 500	500 ÷ 600	600 ÷ 700	700 ÷ 800	800 ÷ 900	> 900
	1600	6	0 ÷ 160	160 ÷ 320	320 ÷ 480	480 ÷ 640	640 ÷ 800	800 ÷ 960	960 ÷ 1120	1120 ÷ 1280	1280 ÷ 1440	> 1440

Fig. 1. Panoul frontal al microsistemului.

Notă. Se va citi $\bar{x}$ $\bar{x}^2$ în loc de x x^2.

șase mărimi de intrare, sînt calculate și afișate valorile momentane ale celor trei indicatori de calitate (conform algoritmului prezentat în continuare) și sînt memorate informațiile în vederea prelucrărilor statistice ulterioare. Această etapă poate dura de la cîteva minute pînă la trei zile, funcție de dorința utilizatorului ;

b) *etapa de extragere a rezultatelor* — etapă în care utilizatorul, pe baza unor anumite combinații de taste de pe panoul frontal al microsistemului, poate vizualiza următoarele informații rezultate în urma calculelor și prelucrărilor statistice efectuate la sfîrșitul etapei de măsurare :

— timpul (durata) etapei de măsurare (minute) ;

— indicatorii integrali ai următoarelor mărimi aleatoare : abaterea tensiunii (ΔU), abaterea frecvenței (Δf), coeficientul de nesimetrie (ε_2), sarcina activă (P) și sarcina reactivă (Q). Acești indicatori, sînt : valoarea medie ($\overline{\Delta U}$, $\overline{\Delta f}$, $\overline{\varepsilon}_2$, $\bar{P}$, $\bar{Q}$), iregularitatea ($\overline{\Delta U^2}$, $\overline{\Delta f^2}$, $\overline{\varepsilon_2^2}$, $\bar{P}^2$, $\bar{Q}^2$) și abaterea standard ($\sigma_{\Delta U}$, $\sigma_{\Delta f}$, σ_{ε_2}, σ_P, σ_Q) ;

— indicatorii caracteristici graficelor de sarcină activă și reactivă : factorul de sarcină (T_P^*, T_Q^*), factorul de pierderi (τ_P^*, τ_Q^*), sarcina maximă (P_{max}, Q_{max}), energia vehiculată în perioada de măsurare (W_a, W_r) și factorul de putere mediu ($\overline{\cos\varphi}$) ;

— durata de aflare a sarcinii în intervalul de variație „k", în timp ce indicatorul de calitate se găsește în intervalul „j" (t_{jk} [%]) ;

— durata în care indicatorul de calitate este situat în intervalul „j", indiferent de domeniul de variație a sarcinii ($t_{j\Sigma}$[%]) ;

— durata de aflare a sarcinii în intervalul de variație „k", pentru valori oarecare ale indicatorului de calitate ($t_{k\Sigma}$ [%]) ;

— repartiția procentuală a energiei vehiculate în perioada de măsurare la indicatorul de calitate situat în intervalul „j" (R_j [%]).

2.2. *Algoritmul de funcționare a microsistemului*

Schema logică bloc a algoritmului de funcționare a microsistemului este prezentată în figura 2.

Procedurile de evaluare a indicatorilor de calitate și a indicatorilor statistici au la bază relațiile de calcul prezentate în continuare, în care „i" simbolizează pasul curent de calcul, iar „n" reprezintă numărul total de măsurători, egal cu durata în minute a perioadei de măsurare :

— pentru determinarea abaterii tensiunii și a indicatorilor integrali de analiză a calității tensiunii :

a) abaterea tensiunii :

$$\Delta U_i = \frac{U_{med_i} - U_n}{U_n} \cdot 100 \ [\%]$$

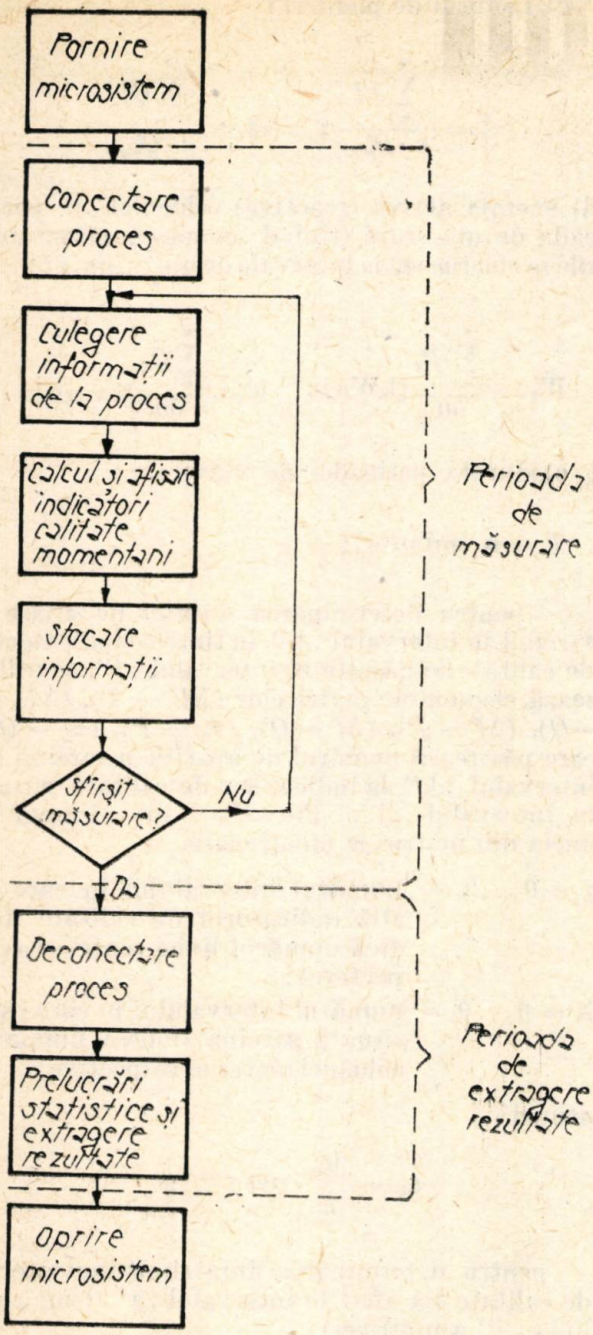


Fig. 2. Schema bloc a algoritmului de funcționare a microsistemului ACEE – 87.

unde : $U_{med_i} = \dfrac{U_{AB_i} + U_{BC_i} + U_{AC_i}}{3}$ [V];

U_n – tensiunea nominală ($U_n = 380$ V);

b) valoarea medie a abaterii tensiunii :

$$\overline{\Delta U} = \frac{\sum_{i=1}^{n} \Delta U_i}{n} \quad [\%];$$

c) iregularitatea abaterii tensiunii :

$$\overline{\Delta U^2} = \frac{\sum_{i=1}^{n} \Delta U_i^2}{n} \quad [(\%)^2];$$

d) abaterea standard :

$$\sigma_{\Delta U} = \sqrt{\overline{\Delta U^2} - (\overline{\Delta U})^2} \quad [\%];$$

– pentru determinarea abaterii frecvenței și indicatorilor integrali ai acesteia :

a) abaterea frecvenței :

$$\Delta f_i = \frac{f_i - f_n}{f_n} \cdot 100 \quad [\%],$$

unde $f_n = 50$ Hz ;

b) valoarea medie a abaterii frecvenței :

$$\overline{\Delta f} = \frac{\sum_{i=1}^{n} \Delta f_i}{n} \quad [\%];$$

c) iregularitatea abaterii frecvenței :

$$\overline{\Delta f^2} = \frac{\sum_{i=1}^{n} \Delta f_i^2}{n} \quad [(\%)^2];$$

d) abaterea standard :

$$\sigma_{\Delta f} = \sqrt{\overline{\Delta f^2} - (\overline{\Delta f})^2} \quad [\%];$$

– pentru determinarea coeficientului de nesimetrie și a indicatorilor săi integrali [2, 3] :

a) coeficientul de nesimetrie :

$$\varepsilon_{2i} = \frac{U_{2i}}{U_n} \cdot 100 \quad [\%],$$

în care U_{2i} este tensiunea de secvență inversă la pasul „i" și se determină cu relația :

$$U_{2i} = \sqrt{\frac{A_i - \sqrt{6 \cdot B_i - 3 \cdot C_i}}{6}} \quad [\text{V}],$$

unde : $A_i = U_{AB_i}^2 + U_{AC_i}^2 + U_{BC_i}^2$;

$$B_i = U_{AB_i}^2 \cdot U_{BC_i}^2 + U_{BC_i}^2 \cdot U_{AC_i}^2 + U_{AB_i}^2 \cdot U_{AC_i}^2 ;$$

$$C_i = U_{AB_i}^4 + U_{BC_i}^4 + U_{AC_i}^4 ;$$

b) valoarea medie a coeficientului de nesimetrie :

$$\bar{\varepsilon}_2 = \frac{\sum_{i=1}^{n} \varepsilon_{2i}}{n} \ [\%];$$

c) iregularitatea coeficientului de nesimetrie :

$$\bar{\varepsilon}_2^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n} \varepsilon_{2i}^2}{n} [(\%)^2];$$

d) abaterea standard :

$$\sigma_{\varepsilon_2} = \sqrt{\bar{\varepsilon}_2^2 - (\bar{\varepsilon}_2)^2} \ [\%];$$

— pentru determinarea indicatorilor statistici ai sarcinii :

a) valoarea medie a sarcinii active (reactive) :

$$\bar{P} = \frac{\sum_{i=1}^{n} P_i}{n} \ [\text{kW}]; \qquad \bar{Q} = \frac{\sum_{i=1}^{n} Q_i}{n} \ [\text{kvar}];$$

b) iregularitatea sarcinii active (reactive) :

$$\bar{P}^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n} P_i^2}{n} [(\text{kW})^2]; \quad \bar{Q}^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n} Q_i^2}{n} [(\text{kvar})^2];$$

c) abaterea standard a sarcinii active (reactive) :

$$\sigma_P = \sqrt{\bar{P}^2 - (\bar{P})^2} \ [\text{kW}]; \quad \sigma_Q = \sqrt{\bar{Q}^2 - (\bar{Q})^2} \ [\text{kvar}];$$

d) factorul de putere mediu :

$$\overline{\cos\varphi} = \frac{\bar{P}}{\sqrt{(\bar{P})^2 + (\bar{Q})^2}};$$

— pentru determinarea indicatorilor caracteristici graficelor de sarcină :

a) sarcina maximă activă (reactivă) :

$$P_{max} = \max_{i=1\ldots n}(P_i); \qquad Q_{max} = \max_{i=1\ldots n}(Q_i);$$

b) factorul de sarcină :

$$T_P^* = \frac{\sum_{i=1}^{n} P_i}{n \cdot P_{max}}; \qquad T_Q^* = \frac{\sum_{i=1}^{n} Q_i}{n \cdot Q_{max}};$$

c) factorul de pierderi :

$$\tau_P^* = \frac{\sum_{i=1}^{n} P_i^2}{n \cdot P_{max}^2}; \qquad \tau_Q^* = \frac{\sum_{i=1}^{n} Q_i^2}{n \cdot Q_{max}^2};$$

d) energia activă (reactivă) vehiculată în perioada de măsurare (ţinînd seama că măsurătorile se efectuează la intervale de un minut) :

$$W_a = \frac{\sum_{i=1}^{n} P_i}{60} \ [\text{kWh}]; \qquad W_r = \frac{\sum_{i=1}^{n} Q_i}{60} \ [\text{kvarh}];$$

e) durata perioadei de măsurare :

$$T = n \ [\text{minute}];$$

— pentru determinarea duratei de aflare a sarcinii în intervalul „k", în timp ce indicatorul de calitate se găseşte în intervalul „j", se utilizează elementele matricelor $(\Delta U - P)$, $(\Delta U - Q)$, $(\Delta f - P)$, $(\Delta f - Q)$, $(\varepsilon_2 - P)$, $(\varepsilon_2 - Q)$, care păstrează numărul de apariţii a sarcinii în intervalul „k" la indicatorul de calitate situat în intervalul „j". Fie M_{jk} — un element al uneia din matricele menţionate.

j = 0...9 — numărul intervalului în care se află indicatorul de calitate (indică numărul liniei matricei respective);

k = 0...9 — numărul intervalului în care este situată sarcina (indică numărul coloanei matricei respective),

atunci :

$$t_{jk} = \frac{M_{jk}}{n} \cdot 100 \ [\%];$$

— pentru determinarea duratei cît indicatorul de calitate s-a aflat în intervalul „j" ((suma pe linia „j" a matricei) :

$$t_{j\Sigma} = \frac{\sum_{k=0}^{9} M_{jk}}{n} \cdot 100 \ [\%];$$

— pentru determinarea duratei de aflare a sarcinii în intervalul „k", indiferent de valoarea indicatorului de calitate (suma pe coloana „k" a matricei) :

$$t_{k\Sigma} = \frac{\sum_{j=0}^{9} M_{jk}}{n} \cdot 100 \ [\%];$$

FISA DE ANALIZA
A CALITATII ENERGIEI ELECTRICE

INDICATORUL DE CALITATE (IC) .....

SARCINA (S) .....

PERIOADA DE MASURA (Tastele: T, ENTER) ..... (ore)

LOCUL DE MONTARE .....

DATA .....

A

INTERVALE S / INTERVALE IC — j \ K	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	B	D
0												
1												
2												
3												
4												
5												
6												
7												
8												
9												

C

Tabla	Rezultatul extras	Taste actionate	Observatii
A	Durata de aflare a sarcinii in intervalul K la indicatorul de calitate in intervalul j (elementele matricei)	IC, S, j, nj, K, nK, ENTER	IC = {ΔU, Δf, ε2} S = {P, Q} nj, nK - una din cifrele 0÷9
B	Durata de aflare a sarcinii la indicatorul de calitate in intervalul j (suma pe linii)	IC, S, j, nj, ENTER	
C	Durata de aflare a sarcinii în intervalul K (suma pe coloane)	IC, S, K, nK, ENTER	
D	Repartitia procentuală a energiei la indicatorul de calitate în intervalul j	IC, S, j, nj, W, ENTER	

Fig. 3.

— pentru determinarea repartiției procentuale a energiei cu indicatorul de calitate aflat în intervalul „j”:

$$R_j = \frac{\sum_{k=0}^{9} M_{jk} \cdot P_{med\,k}}{\sum_{k=0}^{9}\left(\sum_{j=0}^{9} M_{jk}\right) \cdot P_{med\,k}} \cdot 100, \ [\%]$$

unde $P_{med\,k}$ este valoarea medie a sarcinii în intervalul „k”.

Pentru reținerea rezultatelor în vederea analizei calității energiei electrice se completează formularele din figurile 3 și 4.

INDICATORI STATISTICI ȘI INDICATORI CARACTERISTICI GRAFICELOR DE SARCINĂ

LOCUL DE MONTARE .....

DATA .....

Nr. crt.	INDICATORUL	Simbol indicator	Mărimea afectată				
			P	Q	ΔU	Δf	ε_2
1	Valoarea medie	$\bar{X}$					
2	Fregularitatea	$\overline{X^2}$					
3	Abaterea standard	σ_X					
4	Factorul de sarcină	T*			–	–	–
5	Factorul de pierderi	δ*			–	–	–
6	Valoarea maximă a sarcinii	MAX			–	–	–
7	Energia vehiculată (kWh, sau kVarh)	W			–	–	–

Fig. 4.

Cu ajutorul figurii 1 (panoul frontal al microsistemului) putem exemplifica modul de extragere a rezultatelor care se pot vizualiza pe afișajul compact al microsistemului:

— pentru afișarea valorii medii a abaterii frecvenței se acționează tastele: Δf, $\bar{X}$, ENTER;

— pentru afișarea iregularității abaterii tensiunii se acționează tastele: ΔU, $\bar{X}^2$, ENTER;

— pentru afișarea factorului de sarcină al graficului de sarcină activă se acționează tastele: P, T*, ENTER.

2.3. *Structura hard a microsistemului*

Componentele principale ale microsistemului, reprezentate prin schema bloc din figura 5, sînt următoarele:

— interfața de legătură cu procesul (blocul de măsurare);

— unitatea centrală a microsistemului (blocul de calcul și memorare);

— interfața utilizator (blocul de tastatură și afișaj).

Interfața de legătură cu procesul asigură legătura unității centrale a microsistemului cu procesul (rețeaua electrică) în

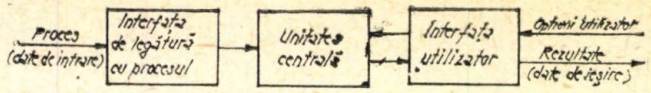


Fig. 5. Schema bloc a microsistemului.

perioada de măsurare, culege la intervale de 1 minut datele de intrare, efectuează conversia analog-digitală a acestora și le transmite unității centrale. Interfața este astfel concepută încît să permită folosirea a două tipuri de semnale electrice, în vederea prelucrării lor de către microsistem, și anume: semnale tip nivel de tensiune și semnale tip frecvență.

Interfațarea semnalelor tip nivel de tensiune are la bază următoarele componente principale:

— 3 traductoare de tensiune alternativă, 1 traductor de putere activă trifazată și 1 traductor de putere reactivă trifazată. Acestea furnizează la ieșire semnale de tensiune continuă în funcție de valoarea mărimii de intrare:

— 1 multiplexor analogic care permite conectarea direct la ieșire a două din cele patru linii de la intrarea circuitului;

— 3 convertoare tensiune-frecvență cu ajutorul cărora semnalul de tensiune continuă de la ieșirile traductoarelor este transformat în impulsuri în logica TTL.

Interfațarea semnalelor tip frecvență se realizează cu ajutorul unui transformator coborîtor de tensiune și a unui formator de impulsuri.

Unitatea centrală calculează, în etapa de măsurare, valorile celor trei indicatori de calitate (abaterea tensiunii ΔU, abaterea frecvenței Δf, coeficientul de nesimetrie ε_2) transmite interfeței tastatură-afișaj cele trei valori spre afișare, memorează valorile calculate în vederea prelucrărilor statistice ce vor avea loc la sfîrșitul etapei de măsurare, efectuează calculele și prelucrările statistice și transmite rezultatele, la cererea utilizatorului, prin intermediul interfeței utilizator. Componentele de bază ale unității centrale sînt: microprocesorul (Z80), circuitul de temporizare și numărare CTC, două circuite PIO, memoriile RAM și ROM etc.

Interfața utilizator (tastatură-afișaj) permite introducerea de la tastatura specializată a informațiilor utile funcționării microsistemului, a opțiunilor pentru extragerea rezultatelor și asigură vizualizarea valorilor celor trei indicatori de calitate în timpul etapei de măsurare și a rezultatelor prelucrărilor la sfîrșitul acestei etape. Elementele principale ale interfeței sînt: tastatura (organizată matriceal) afișajul și LED-urile pentru semnalizarea tastelor acționate (fig. 1).

2.4. *Structura soft a microsistemului*

Controlul microsistemului este asigurat de programul înscris în memoria ROM, avînd o capacitate de 7 Ko (4 EPROM-uri). Programul

cuprinde subrutinele de calcul efectiv, subrutinele de tratare a întreruperilor și subrutinele aferente operatorului de virgulă mobilă.

Memoria RAM utilizată are o capacitate de 2 Ko și cuprinde variabilele de sistem, variabilele programului, stiva sistemului de operare și stiva operatorului de virgulă mobilă.

Concluzii

1) Microsistemul prezentat se înscrie pe linia preocupărilor de realizare a unor mijloace de măsurare specializate în vederea creșterii observabilității calității energiei electrice în sistemul electroenergetic.

2) Informațiile obținute cu ajutorul acestui aparat pot servi la analiza, în mod expeditiv, a calității energiei electrice, pe baza căreia se pot lua decizii corecte privind exploatarea și dezvoltarea sistemului electroenergetic.

3) Prin amplasarea succesivă a microsistemului în diverse puncte ale sistemului electroenergetic și analizînd rezultatele obținute se pot stabili:

— cauzele reducerii calității energiei electrice;
— daunele tehnologice și electromagnetice datorate reducerii calității energiei electrice;
— măsurile optime pentru ameliorarea calității energiei electrice.

4) Prin intervenții facile asupra nucleului soft, asupra interfeței de măsurare și a interfeței utilizator, microsistemul poate fi utilizat pentru măsurarea și analiza altor indicatori (de exemplu durata întreruperilor, coeficientul de distorsiune etc.) sau poate fi utilizat și la alte trepte de tensiune.

Bibliografie

[1] Poeată, Al., Arie, A. A., Crișan, O., Eremia, M., Buta, A., Alexandrescu, V. *Transportul și distribuția energiei electrice.* E.D.P. București, 1981.

[2] Albert, H., Florea, I. *Alimentarea cu energie electrică a întreprinderilor industriale.* Vol. I. Editura Tehnică, București, 1987.

[3] Jelezko, I. S. *Kompensația reactivnoi moșcinosti i povișenie kacestva elektroenerghii.* Moskva, Energoatomizdat, 1985.

[4] Nepomniașcii, V. A. *Ucet nadējnosti pri proektirovanii energosistem.* Energhia, Moskva, 1978.

[5] Sevastru, A. *Contribuții la stabilirea indicilor tehnico-economici considerați în studiile de optimizare a soluțiilor de interconexiune internațională a sistemelor electroenergetice.* Teză de doctorat, I. P. Iași, 1983.

[6] Poeată, Al., Turic, L., Balcaș, V. *Utilizarea indicilor integrali pentru analiza calității tensiunii rețelelor electrice.* In: Producerea, transportul și distribuția energiei electrice, nr. 2, MEE, 1970.

[7] Poeată, Al., Turic, L., Ilinca, M. *Voltmetre statistice pentru determinarea indicilor integrali de calitate a tensiunii rețelelor electrice.* În lucrările sesiunii de comunicări ICPET, București, 1971.

[8] Georgescu, Gh., Baraboi, A. *Dispozitiv pentru măsurarea pierderilor de energie activă în rețelele electrice.* Buletin I. P. Iași, Tom XXIII, fasc. 1—2, 1977.

(Primit la 20 decembrie 1988, acceptat la 24 februarie 1989)

Cărți noi

Cunoscuta revistă *„Der Maschinenschaden"* din R.F.G. ne roagă să informăm cititorii revistei asupra unui articol special referitor la luarea în considerare a riscului în activitatea de conducere cu aplicații în energetică. Publicăm mai jos rezumatul și prezentarea întocmită de redacția revistei sus-citate.

LUAREA ÎN CONSIDERARE A RISCULUI ÎN ACTIVITATEA DE CONDUCERE

Spre deosebire de lucrările cu caracter net teoretic, autorul tratează într-un articol special problema riscului în activitatea de conducere, prezentîndu-se un exemplu practic de analiză a fiabilității și „căderilor" utilajelor dintr-o instalație de producere combinată a energiei electrice și căldură. După o scurtă prezentare a modului de punere a problemei, a evaluării, a limitelor și a aspectului financiar al riscului, se discută transferarea riscurilor asupra acelor organizații de asigurări, care preferă riscurile de vîrf și de strangulare din întreprinderi și care fac asigurări pentru o instalație sau pe părți de instalații.

Articolul cuprinde șase pagini format A4 și șase figuri; se poate comanda sub nr. TI-D6-230 la prețul de 8 DM.

* * *

Luarea în considerare a riscului în activitatea de conducere se referă — într-o exprimare mai simplă — la organizarea planificată a acelor riscuri și pericole, care pun în pericol un sistem în interacțiunea sa cu mediul sau chiar din interior spre exterior; recunoașterea și evaluarea riscurilor și pericolelor, precum și măsurile care rezultă sînt, prin urmare, elementele sale principale. De fapt, aproape toți oamenii aplică acest procedeu zi de zi mai mult sau mai puțin și aproape ca un mod obișnuit. Acest articol se bazează pe o lucrare apărută de curînd în revista „Der Maschinenschaden".

* * *

Fiecare număr al revistei de specialitate în domeniul tehnologiei riscurilor „Der Maschinenschaden" publică pe lîngă articole de specialitate ale unor autori competenți și rezumate în limbile germană, engleză, franceză, olandeză și italiană; în plus, în fiecare ultim număr din an se prezintă un cuprins cu toate temele abordate, după autori, domenii și bibliografii.

Un exemplar costă 19 DM; abonamentul anual (6 numere) costă 105 DM plus cheltuielile de expediții și ambalare.

Solicitări magnetice și termice în dintele frontal statoric la turbogeneratoarele de 330 MW

Dr. ing. DAN ZLATANOVICI *

Descriptori: turbogenerator, dinte frontal, inducție, temperatură, regim capacitiv

În articol se prezintă rezultatele măsurătorilor de inducție și de temperatură în dintele frontal statoric la generatoarele de 330 MW.

Măsurătorile s-au efectuat la două generatoare echipate în prealabil cu traductoare de măsură adecvate. La unul din generatoare s-a reușit să se implanteze termocuple în interiorul dintelui frontal prin fantele de divizare a tolelor.

Pe baza rezultatelor măsurătorilor s-a determinat limita termică de funcționare în regim capacitiv de durată pentru acest tip de generator.

De asemenea, aceste rezultate au permis validarea unor poteze privind fenomenele electromagnetice și termice ce se desfășoară în zonă și validarea unor programe de calcul.

The results of induction and temperature measurements within front stator teeth of 330 MW generators are presented.

Measurements were carried out on two generators equipped with two suitable measurement transducers. Thermocouples were implanted within the front teeth of one of the generators through the sheet slots.

Based on the measurements results the thermal operating limit in long term capacitive regime for this generator type was determined.

These results have also enabled the validation of some hypotheses on electromagnetic and thermal phenomena occuring in this area as well as some computation programs.

Introducere

Studiul solicitărilor magnetice și termice în dintele frontal statoric la turbogeneratoarele de 330 MW s-a făcut în scopul determinării posibilităților de funcționare în regim subexcitat de durată a acestui tip de generator.

În acest regim, datorită majorării fluxurilor de dispersie din zonă, cresc pierderile generate de curenții turbionari induși în pachetul frontal de tole al dintelui statoric. Încălzirile datorate acestor pierderi, în cazul în care depășesc limitele admisibile, devin periculoase și pot duce la deteriorarea izolației între tole sau la deteriorarea izolației barelor înfășurării statorice.

Studiul s-a efectuat pe două generatoare de 330 MW . În acest scop s-au montat traductoare de măsură a temperaturilor (notate cu T) și a inducțiilor magnetice (notate cu B) pe fețele accesibile ale unor pachete frontale de tole ale dinților statorici (prescurtat — dinte frontal statoric).

La un grup (notat în cele ce urmează cu 1) s-au montat traductoare de măsură pe două tipuri de dinți, în ceea ce privește faza barelor înfășurării statorice din crestăturile alăturate și anume :

— dinte încadrat de crestături cu bare de la aceeași fază ;
— dintre încadrat de o crestătură cu bare ale unei faze și o crestătură cu o bară de la aceeași fază și una de la altă fază.

La un alt grup (notat cu 2) s-au montat tral ductoare de măsură numai pe dinții de tipul a-doilea.

La generatorul 1 s-au mai montat în primele trei canale radiale de ventilație, începînd din partea frontală, pe fiecare față a pachetelor de tole respective, traductoare pentru măsurarea inducției axiale, la distanța de 35 mm de vîrf (întrefier).

La al doilea grup s-a reușit să se implanteze patru termocuple în interiorul dintelui frontal, prin fantele radiale de divizare a tolelor acestui dinte.

Tehnologia de montare a traductoarelor de măsură, precum și modul de efectuare a măsurătorilor au fost prezentate în detaliu în articolul [1].

În figura 1 se prezintă poziționarea traductoarelor de măsură montate la cele două generatoare, pe aceeași schiță a zonei respective.

Studiul s-a efectuat în două etape : în prima etapă s-au montat traductoarele de măsură la generatorul 1 și s-au efectuat măsurători cu generatorul cuplat la sistem, pentru puteri active pînă la 205 MW ; în etapa a doua s-au montat traductoare de măsură la generatorul 2 și s-au efectuat măsurători (cu generatorul cuplat la sistem) pentru puteri active între 217 MW și 308 MW.

1. Solicitări magnetice

În figura 2 se prezintă curbele de variație ale inducției axiale măsurate în cîteva puncte identice ca poziție, la cele două generatoare,

* Dr. ing. Dan Zlatanovici — Institutul de Cercetări și Modernizări Energetice, București.

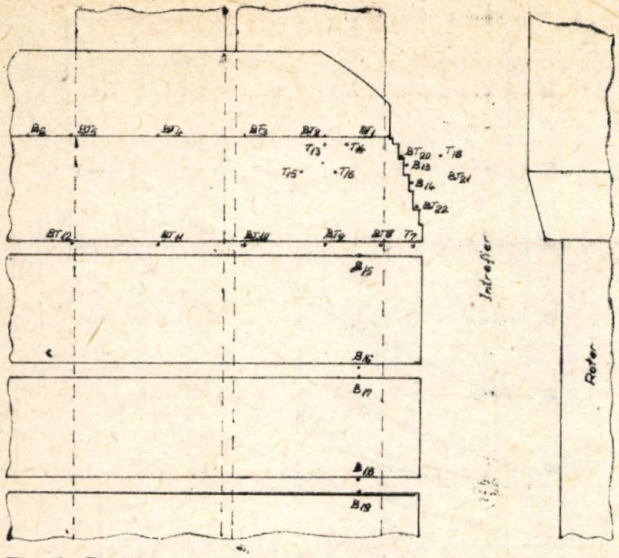


Fig. 1. Poziționarea punctelor de măsură: B — inducții, T — temperatură.

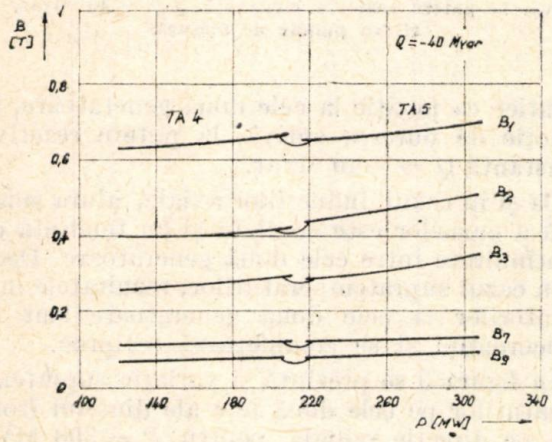


Fig. 2. Variația inducției axiale în funcție de puterea activă, la puterea reactivă constantă $Q = -40$ Mvar, în cîteva puncte de măsură.

în funcție de puterea activă la putere reactivă constantă $Q = -40$ Mvar. Se observă că alura generală a curbelor este similară și cu tendință de continuitate între cele două generatoare. Rezultă deci că rezultatele măsurătorilor la cele două generatoare sînt în concordanță și se completează reciproc.

În figura 3 se prezintă variația inducției axiale în funcție de puterea reactivă, la putere activă constantă $P = 308$ MW. Inducția axială crește uniform de la inductiv la capacitiv, creșterea fiind de ordinul 0,03 T pe 100 Mvar, indiferent de puterea activă.

În figura 4 se prezintă variația inducției axiale, pe direcție axială, pe parcursul primelor trei pachete de tole la puterea activă $P = 205$ MW; la trasarea diagramelor s-a considerat că în interiorul unui pachet de tole de la o față la alta, inducția axială are o variație exponențială [2, 3].

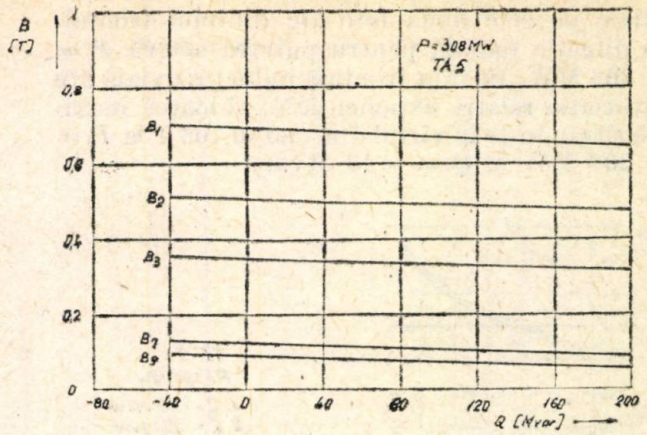


Fig. 3. Variația inducției axiale în funcție de puterea reactivă, la puterea activă constantă $P = 308$ MW, în cîteva puncte de măsură.

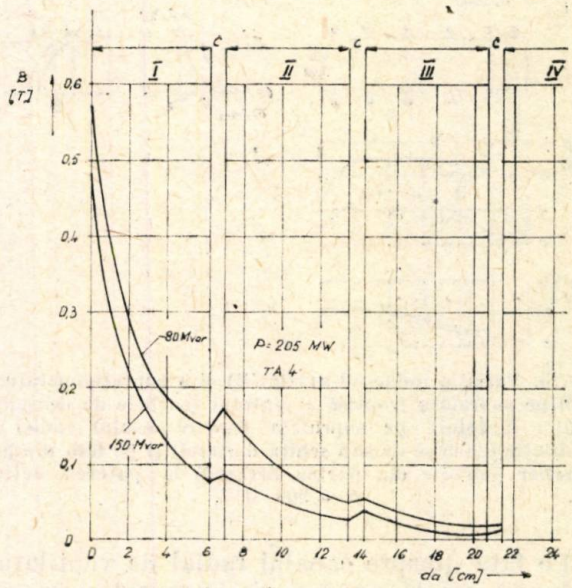


Fig. 4. Variația inducției axiale pe parcursul primelor trei pachete de tole statorice: I, II, III — pachete de tole statorice; c — canal radial de ventilație.

Se observă că pe parcursul primului pachet de tole — respectiv dintele frontal — inducția axială scade la circa 20—25%, pe parcursul celui de al doilea pachet la 10% și pe parcursul celui de al treilea pachet la 3% din valoarea incidentă de pe fața frontală a primului pachet de tole — dintele frontal; acest fapt confirmă ipoteza că solicitările magnetice, și deci și cele termice, maxime sînt localizate în dintele frontal [2, 3]. Se mai constată, pe aceeași diagramă, că valoarea inducției care pătrunde într-un pachet de tole este mai mare cu circa 15% decît valoarea inducției axiale care iese din pachetul anterior; această creștere se datorează aportului cîmpului de scăpări lateral.

În figura 5 se prezintă variaţia inducţiei axiale pe cele două feţe ale dintelui frontal, pe direcţie radială pentru puterea activă $P = 308$ MW. Pe faţa frontală inducţia axială are o variaţie relativ exponenţială, valoarea maximă situîndu-se în vîrful dintelui (0,706 T la $P = 308$ MW şi $Q = -40$ Mvar).

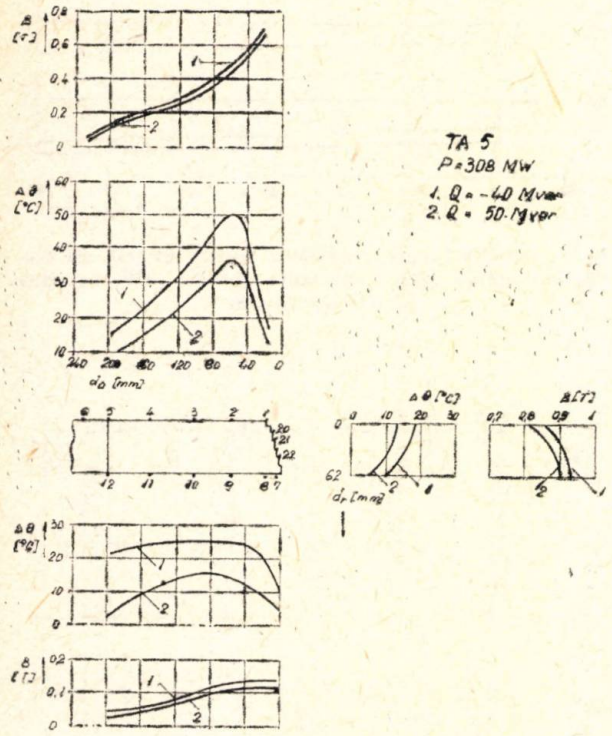


Fig. 5. Variaţia inducţiei axiale (B) şi a supratemperaturii ($\Delta\theta$) pe suprafaţa frontală a dintelui (curbele de deasupra schiţei dintelui), pe suprafaţa dinspre canalul radial de ventilaţie (curbele de sub schiţa dintelui) şi pe faţa dinspre întrefier (curbele din partea dreaptă) la puterea activă $P = 308$ MW.

Pe faţa dinspre canalul radial de ventilaţie, inducţia axială are o variaţie monoton crescătoare spre vîrful dintelui.

Pe faţa dinspre întrefier, pe treptele reduse, inducţia axială scade puternic, confirmînd efectul acestor trepte.

Comparînd valorile măsurate în punctele similare de pe cele două tipuri de dinte la genetarorul 1 s-a constatat că la dintele încadrat de crestături cu bare statorice de la aceeaşi fază, inducţiile axiale sînt mai mici cu circa 15—20% faţă de dintele încadrat de crestături cu bare de la faze diferite.

Rezultatele prezentate se referă la dintele încadrat de crestături cu bare de la faze diferite.

2. Solicitări termice

În figura 6 se prezintă curbele de variaţie ale supratemperaturilor faţă de temperatura locală a hidrogenului rece, măsurate în cîteva puncte

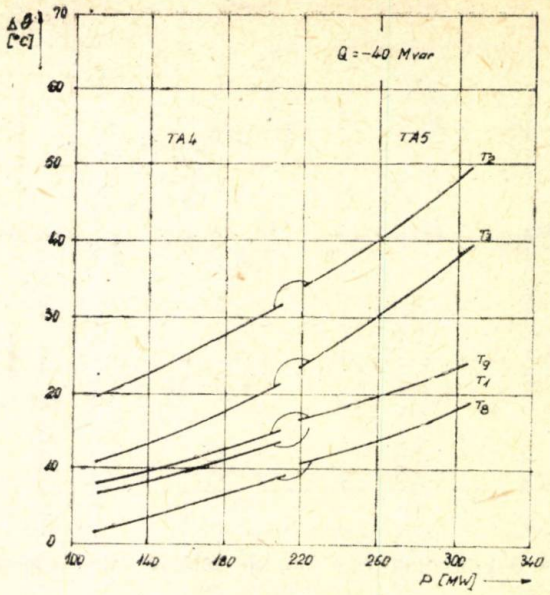


Fig. 6. Variaţia supratemperaturilor în funcţie de puterea activă, la putere reactivă constantă $Q = -40$ Mvar, în cîteva puncte de măsură.

identice ca poziţie la cele două generatoare, în funcţie de puterea activă, la putere reactivă constantă $Q = -40$ Mvar.

Ca şi în cazul inducţiilor axiale, alura generală a curbelor este similară şi cu tendinţă de continuitate între cele două generatoare. Deci, şi în cazul supratemperaturilor, rezultatele măsurătorilor la cele două generatoare sînt în concordanţă şi se completează reciproc.

În figura 5 se prezintă şi variaţia supratemperaturilor pe cele două feţe ale dintelui frontal, pe direcţie radială, pentru $P = 308$ MW. Se observă că valorile supratemperaturilor pe faţa frontală sînt în general mai mari decît valorile de pe faţa dinspre canalul de ventilaţie şi prezintă un maximum la circa 1/3 de vîrf (58 mm) — termocuplul T2. Pe faţa dinspre canalul radial de ventilaţie valoarea maximă se află în partea de mijloc.

În zona vîrfului şi în zona jugului statoric supratemperaturile scad destul de mult faţă de valoarea maximă : cu circa 40°C pe faţa frontală şi cu circa 10°C pe faţa dinspre canalul radial de ventilaţie.

În figura 7 se prezintă variaţia supratemperaturilor măsurate în cîteva puncte de suprafaţă şi în interiorul dintelui frontal, în funcţie de puterea reactivă, la puterea activă constantă $P = 308$ MW. Se remarcă faptul că supratemperaturile cresc relativ uniform de la inductiv la capacitiv. Astfel supratemperaturile cresc de la 204 Mvar (valoarea nominală a puterii reactive) la — 40 Mvar cu circa 30 — 50°C. Această remarcă este valabilă pentru toate punctele de măsură.

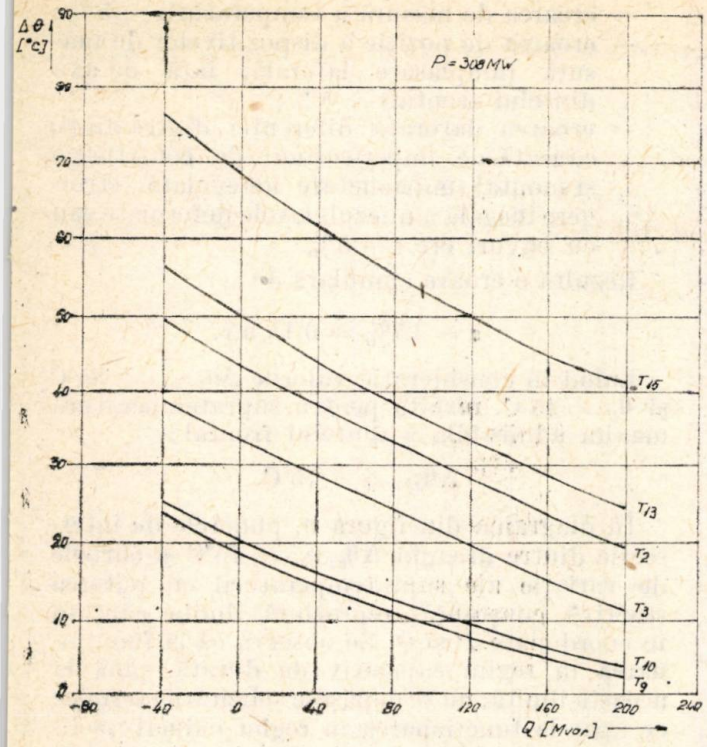


Fig. 7. Variația supratemperaturilor în funcție de puterea reactivă, la putere activă constantă $P = 308$ MW, în cîteva puncte de măsură.

În figura 8 se prezintă variația supratemperaturilor în interiorul dintelui, pe direcția axială, în zona cea mai caldă (T2—T8). În interior, supratemperaturile sînt mai mari decît cele măsurate pe fețele dintelui cu circa 25—60°C. Se precizează că zona cea mai caldă a fost predeterminată în urma analizei măsurătorilor și calculelor efectuate la generatorul 1.

Amplasarea traductoarelor de măsură la generatorul 2 s-a făcut astfel încît să se completeze această zonă. În felul acesta a putut fi localizată zona cea mai solicitată a dintelui frontal statoric și care se află în interiorul dintelui, la circa 1/3 din lungimea dintelui față de vîrf și la 1/3 din lățimea dintelui, de fața frontală.

Comparînd valorile măsurate, la grupul 1 pe cele două tipuri de dinte s-a constatat că la dintele încadrat de crestături cu bare statorice de la aceeași fază, supratemperaturile sînt mai mici cu 5—12°C față de cele înregistrate la dintele încadrat cu crestături cu bare de la faze diferite.

Ca și în cazul inducțiilor, rezultatele pentru supratemperaturi se referă la dintele cel mai solicitat.

3. Limita termică de funcționare în regim capacitiv de durată

Pentru determinarea limitei termice de funcționare în regim capacitiv de durată, s-au trasat curbele de variație ale încălzirilor în punctul

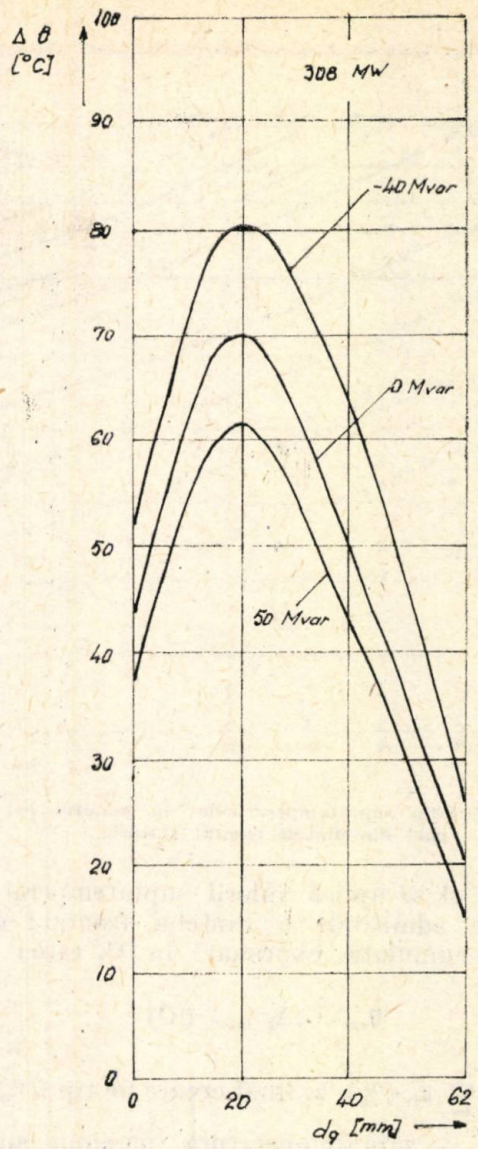


Fig. 8. Variația supratemperaturilor în interiorul dintelui frontal, pe direcție axială, în zona cea mai caldă (T2 — T8).

cel mai cald, în funcție de puterea activă și reactivă (fig. 9).

Supratemperatura maximă admisibilă pentru dintele frontal se determină pe baza următoarelor considerente:

— temperatura în punctul cel mai cald să nu depășească temperatura maxim admisibilă pentru miezul statoric și înfășurarea statorică;
— erorile luate în considerație se introduc în sens acoperitor.

Erorile au fost determinate în cadrul cercetărilor anterioare, efectuate pe un model electromagnetic de dinte trapezoidal și pe generatoare reale [3, 5, 7]. Valorile diverselor erori se cumulează diferențiat pe fiecare tip de generator

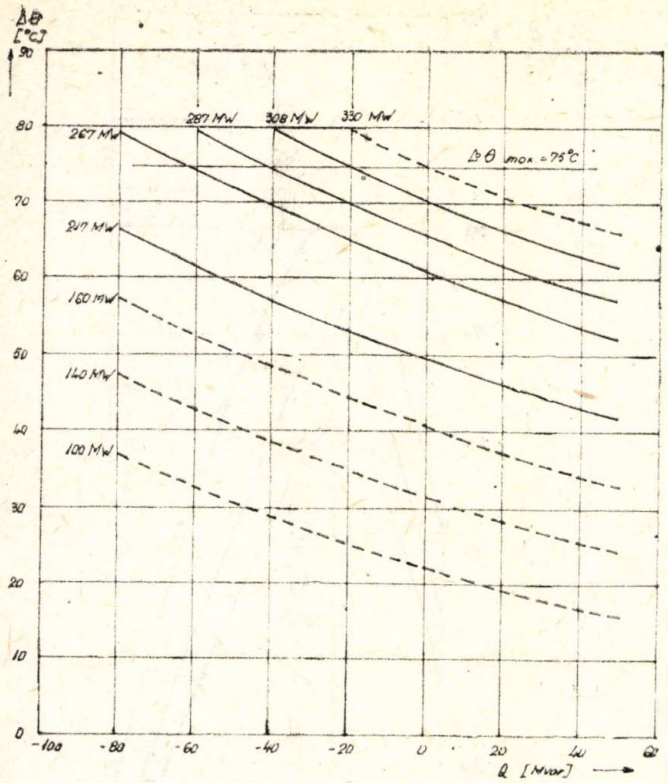


Fig. 9. Variaţia supratemperaturilor în punctul cel mai cald din dintele frontal statoric.

studiat şi se aplică valorii supratemperaturii maxime admisibile a dintelui frontal; deci eroarea cumulată, exprimată în °C, este:

$$\theta_{cr} = \varepsilon \Delta_{df\,max},\ (°C)$$

unde:

$\varepsilon = \sum_i \varepsilon_i$, (%), ε_i fiind eroare de tip i(%);

$\Delta_{df\,max}$ — supratemperatura maximă admisibilă a dintelui frontal.

În aceste condiţii, supratemperatura maxim admisibilă a dintelui frontal se determină cu relaţiile:

$$\theta\Delta_{df\,max} = \theta_{Fe\,max} - \theta_H - \theta_{er} - \Delta\theta_{Fe\,max} - \theta_{er},$$

$$\Delta\theta_{df\,max} = \frac{1}{1 + \varepsilon(\text{u.r.})}\,\Delta\theta_{Fe\,max},$$

unde:

$\theta_{Fe\,max}$, $\Delta\theta_{Fe\,max}$ reprezintă temperatura, respectiv supratemperatura maxim admisibilă pentru fierul statoric;

θ_H — temperatura maximă a hidrogenului rece, la intrarea în generator;

$\varepsilon(\text{u.r.}) = \frac{\varepsilon(\%)}{100}$ — eroarea cumulată exprimată în unităţi relative.

Pentru generatorul de 330 MW s-au luat în consideraţie următoarele erori:

— eroarea de măsură a temperaturii — 5%;
— eroarea de poziţie a dispozitivelor de măsură (amplasare laterală, faţă de axa dintelui frontal) — 5%;
— eroarea datorată diferenţei dintre dinţi, cauzată de imperfecţiuni de construcţie şi montaj (împachetare neregulată, strîngere inegală a miezului, tole deformate sau cu bavuri etc.) — 5%.

Rezultă o eroare cumulată de:

$$\varepsilon = 15\% = 0{,}15\ \text{u.r.}$$

Luînd în consideraţie valorile $\Delta\theta_{Fe\,max} = 85°C$ şi $\theta_H = 45°C$, rezultă pentru supratemperatura maxim admisibilă a dintelui frontal:

$$\Delta\theta_{df\,max} = 75°C.$$

În diagrama din figura 9, punctele de intersecţie dintre dreapta $\Delta\theta_{df\,max} = 75°C$ şi curbele de variaţie ale supratemperaturii cu puterea reactivă constantă, reprezintă limita căutată în coordonate P şi Q. Se observă că la funcţionarea în regim capacitiv de durată, pînă la această limită, nu se depăşesc solicitările termice ce apar la funcţionarea în regim inductiv, solicitări pentru care a fost dimensionat generatorul. Limita astfel determinată a fost trasată pe diagrama PQ a generatorului (fig. 10, curba 2).

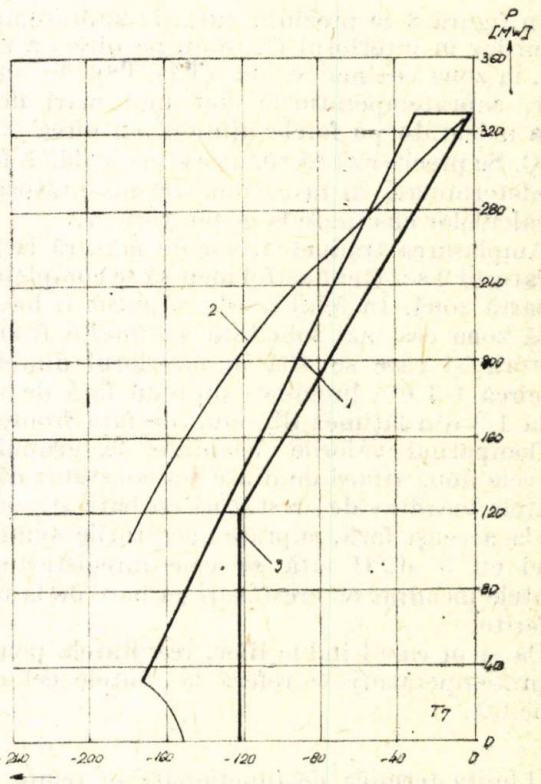


Fig. 10. Limite de funcţionare în regim capacitiv de durată: 1 — limita de funcţionare după unghiul intern ($\delta = 64°$), indicată de constructor; 2 — limita termică determinată experimental; 3 — limita de exploatare.

Notă: S-a prezentat numai partea capacitivă (partea stîngă) a diagramei de funcţionare PQ.

Ţinîndu-se cont de reglajele regulatorului automat de tensiune, s-a recomandat pentru exploatare o limită de funcţionare mai redusă (curba 3).

În anexă se prezintă instrucţiunea de exploatare în regim capacitiv (subexcitat) de durată, elaborată pe baza limitelor determinate mai sus.

ANEXĂ

Instrucţiuni de exploatare în regim capacitiv de durată a turbogeneratoarelor de 330 MW

1. Este permisă funcţionarea turbogeneratoarelor de 330 MW în regim capacitiv (subexcitat) de durată pînă la limita indicată în tabel, în următoarele condiţii:
   — temperatura hidrogenului $\leqslant$ 45°C;
   — presiunea hidrogenului $\geqslant$ 3 ata;
   — tensiunea la bornele generatorului $\geqslant 0{,}95\ U_n$;
   — pentru fiecare creştere a temperaturii hidrogenului rece cu 1° peste valoarea de 45°C se va reduce limita de funcţionare în regim capacitiv cu 3 Mvar, indiferent de puterea activă.

P	MW	330	300	280	260	240	220	200	130	160	140
Q_{cap}	Mvar	0	17	29	40	52	63	75	87	98	110
									120	0	
									122	122	

2. În scopul asigurării unei rezerve de stabilitate statică suplimentară a nodului, se recomandă repartizarea uniformă a puterilor active şi reactive pe grupurile racordate la aceeaşi bară.

3. În timpul funcţionării turbogeneratorului în regim subexcitat, în limitele indicate mai sus, reglajul excitaţiei să se facă cu regulatorul automat de tensiune pentru asigurarea stabilităţii grupului.

4. În cazul în care apare o tendinţă de dezexcitare (tendinţă de pierdere a stabilităţii) personalul de exploatare va proceda la excitarea generatorului pînă la stabilizarea grupului.

Concluzii

Cercetările experimentale efectuate au permis determinarea nivelurilor de solicitări termice şi magnetice în dintele frontal statoric la generatorul de 330 MW şi pe baza acestora stabilirea posibilităţilor de funcţionare în regim capacitiv de durată a acestui tip de generator.

Datorită faptului că s-a reuşit implantarea unor termocuple în interiorul dintelui frontal statoric, s-au putut măsura direct temperaturile în interiorul dintelui, în diverse regimuri de funcţionare a generatorului cuplat la sistem. În cadrul cercetărilor similare, efectuate pe alte tipuri de generatoare, temperaturile în interiorul dintelui frontal statoric s-au determinat prin calcul, pornind de la valorile măsurate pe frontieră. Aceste măsurători au permis validarea programelor de calcul elaborate de Catedra de Electrotehnică a I.P.B. şi de ICEMENERG [1, 4, 7].

De asemenea, au fost verificate şi confirmate o serie de ipoteze privind fenomenele electromagnetice şi termice care se desfăşoară în zona dintelui frontal statoric.

Bibliografie

[1] Zlatanovici, D. *Metodă experimentală directă pentru determinarea solicitărilor termice şi magnetice în dintele frontal statoric la generatoarele aflate în exploatare.* În: Energetica, 31, 1983, nr. 9, p. 412—417.

[2] Postnicov, I. M. ş.a. *Elektromagnitnie i teplovie protesi v konţevih ceastiah mascivih turbogeneratorov.* In: Iz. Naukova Dumka, Kiev, 1971.

[3] Zlatanovici, D. *Studiu experimental al cîmpului magnetic şi termic pe un model electromagnetic de dinte trapezoidal.* In: Energetica, 31, nr. 6, 1983, p. 281—284.

[4] Timotin, A., Ţugulea, A. *Penetration du flux axial dans les zones frontales du stator des grand turbo-alternateurs.* In: Rev. Roum. Sci. Techn. — Electrotechn. et Energ., 23, 1, 1978.

[5] Zlatanovici, D. *Limitele termice de funcţionare în regim subexcitat de durată ale turbogeneratoarelor.* In: Energetica, 33, nr. 2, 1986, p. 55—65.

[6] Zlatanovici, D. *Consideraţii privind funcţionarea generatoarelor din SEN în regim subexcitat de durată.* In: Energetica, 33, nr. 4, 1986, p. 153—158.

[7] Zlatanovici, D. *Contribuţii la studiul fenomenelor electromagnetice din zonele frontale ale maşinilor electrice de mare putere.* Teză de doctorat. IPB, 1987.

(Primit 18 ianuarie 1989, acceptat la 25 februarie 1989)

Presiunea din stratul de ulei de la etanșările frontale ale turbogeneratoarelor răcite cu hidrogen

Ing. GHEORGHE CHITIC*

Descriptori: turbogeneratoare, răcire cu hidrogen, ungere

În lucrare se stabilesc condițiile de utilizare a ecuației lui Reynolds pentru diferite forme ale stratului de ulei din etanșările frontale. Pentru integrarea ecuațiilor se utilizează metoda transformărilor conforme și ecuațiile cu diferențe finite și se fac o serie de aproximări obișnuite în astfel de calcule.

The possibilities to use Reynold's equation for different oil layer shapes within frontal sealings are set up. The equations are integrated by the method of isogonal transformations and by the finite difference equations and a series of usual approximations for such computations are elaborated.

NOTAȚII

În lucrare se folosesc următoarele notații:

Dimensiunile r_i, r_e, R_i, R_e, B, L, h_1, h_2 și h rezultă din figurile 1 și 2.

p — presiunea dintr-un punct $M(r, \varphi, z)$ din stratul de ulei în care r este raza, φ unghiul și z distanța axială măsurată de la suprafața umărului arborelui și care formează un sistem de axe de coordonate cilindrice cu originea pe axa arborelui și în planul umărului acestuia;

p_i — presiunea uleiului la intrarea în canalul circular și cele radiale;

p_h, p_a — presiunile hidrogenului și respectiv a aerului;

Ω — viteza unghiulară a arborelui;

μ, ρ — viscozitatea dinamică, respectiv densitatea uleiului;

n — numărul buzunarelor.

I. Turbogeneratoarele Elektrosila și Reșița, din termocentralele din țara noastră, sînt echipate cu etanșări frontale.

Partea principală a etanșării este un cuzinet apăsat de arcuri și de presiunea hidrogenului pe umărul arborelui.

Suprafața activă a cuzinetului este împărțită de un canal circular în:

— *partea de etanșare* cuprinsă între acest canal și spațiul cu hidrogen și

— restul suprafeței care este divizată, de un număr de canale radiale, în *sectoare* în care sînt prelucrate *buzunare*.

Uleiul pătrunde în canalul circular cu presiunea p_i și:

— o parte se scurge în spațiul cu hidrogen a cărui presiune $p_h < p_i$;

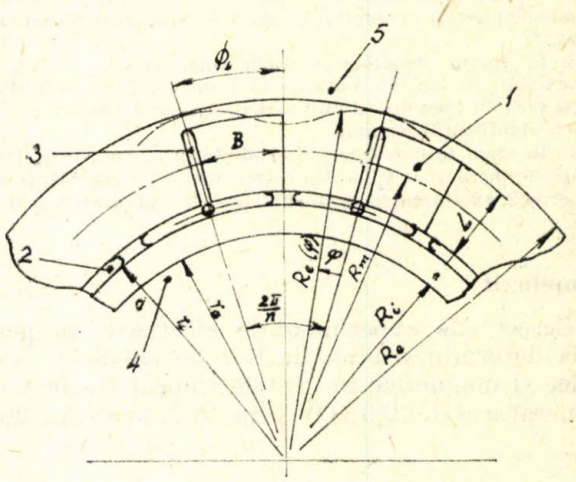


Fig. 1. — Vedere frontală a suprafeței active a cuzinetului: 1 — buzunar; 2 — canal circular; 3 — canal radial; 4 — — spațiu cu hidrogen; 5 — spațiu cu aer.

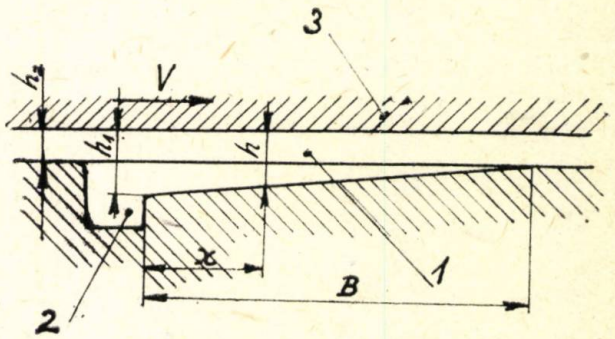


Fig. 2. Secțiune printr-un buzunar de ulei: 1 — buzunar; 2 — canal radial; 3 — umărul arborelui.

* Ing. Gheorghe Chitic — IRE Sibiu

— o altă parte se scurge din canalul circular și canalele radiale prin sectoare spre exteriorul turbogeneratorului.

II. Presiunea din stratul de ulei dintre cuzinet și umărul arborelui

Grosimea h a stratului de ulei este de ordinul 10^{-4}m astfel că presiunea satisface ecuația lui Reynolds [I]:

$$\frac{\partial}{\partial r}\left(\frac{h^3}{\mu} r \frac{\partial p}{\partial r}\right)+\frac{\partial}{\partial \varphi}\left(\frac{h^3}{\mu} \frac{\partial p}{r \partial \varphi}\right)=6r\Omega \frac{\partial h}{\partial \varphi}+ \\ +0{,}3\rho\Omega^2 \frac{\partial}{\partial r}\left(\frac{h^3}{\mu} r^2\right). \quad (1)$$

În calcule se consideră că μ și ρ au valori constante.

Dacă în (1) se scrie: $p = p_0(r, \varphi) + p_1(r)$ (2) se obține:

$$\frac{\partial}{\partial r}\left(\frac{h^3}{\mu} r \frac{\partial p_0}{\partial r}\right)+\frac{\partial}{\partial \varphi}\left(\frac{h^3}{\mu} \frac{\partial p_0}{r \partial \varphi}\right)=6r\Omega \frac{\partial h}{\partial \varphi} \quad (3)$$

și

$$\frac{d}{dr}\left(\frac{h^3}{\mu} r \frac{dp_1}{dr}\right)=0{,}3\ \rho\Omega^2 \frac{d}{dr}\left(\frac{h^3}{\mu} r^2\right). \quad (4)$$

Condițiile la limite sînt:

$$p_1(r = r_e) = 0 \text{ și } p_1[r = R_e^*(\varphi)] = 0,$$

în care $R_e^*(\varphi)$ este curba pe care valoarea presiunii este p_a; considerînd în loc de $R_e^*(\varphi)$ valoarea medie:

$$\bar{R}_e = \frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi} R_e^*(\varphi)\, d\varphi \quad (5)$$

se obține $p_1(r = \bar{R}_e) = 0$.

Soluția lui (4) este:

$$p_1 = 0{,}15\rho\Omega^2\left[\frac{\bar{R}_e^2 - r_e^2}{\ln\frac{\bar{R}_e}{r_e}} \ln\frac{\bar{R}_e}{r} - (\bar{R}_e^2 - r^2)\right] \quad (6)$$

1. În partea de etanșare grosimea stratului de ulei este constantă $h = h_2$ (vezi fig. 1 și 2) și deoarece $\frac{\partial p_0}{\partial \varphi} = 0$, din (3) se obține:

$$\frac{d}{dr}\left(r \frac{dp_0}{dr}\right) = 0. \quad (7)$$

Condițiile la limite sînt:

$p_0(r = r_i) = p_i$ și $p_0(r = r_e) = p_h$, iar soluția lui (7) este:

$$p_0 = p_i - \frac{p_i - p_h}{\ln\frac{r_i}{r_e}} \ln\frac{r_i}{r}. \quad (8)$$

2. *În partea sectoarelor* grosimea stratului de ulei este:

a. În partea în care nu sînt buzunare și în care $h = h_2$ (fig. 1) din (3) se obține:

$$\frac{\partial}{\partial r}\left(r \frac{\partial p_0}{\partial r}\right)+\frac{\partial^2 p_0}{r \partial \varphi^2} = 0. \quad (9)$$

Condițiile la limite pentru $p_0(r, \varphi)$ sînt:

$$p_0(r = R_i, \varphi) = p_i \text{ și } p_0(r, \varphi = 0) = p_i,$$

în care:

$$R_i \leqslant r \leqslant R_e.$$

b. În partea cu buzunare grosimea stratului este (fig. 2):

$$h = h_1 - \frac{h_1 - h_2}{B} x. \quad (10)$$

Dacă în ecuația (3) se scrie: $p_0 = p_0^* + p_b$ (11) se obțin ecuațiile:

$$\frac{\partial}{\partial r}\left(\frac{h^3}{\mu} r \frac{\partial p_0^*}{\partial r}\right)+\frac{\partial}{\partial \varphi}\left(\frac{h^3}{\mu} \frac{\partial p_0^*}{r \partial \varphi}\right)=0 \quad (12)$$

și

$$\frac{\partial}{\partial r}\left(\frac{h^3}{\mu} r \frac{\partial p_b}{\partial r}\right)+\frac{\partial}{\partial \varphi}\left(\frac{h^3}{\mu} \frac{\partial p_b}{r \partial \varphi}\right) = 6r\Omega \frac{\partial h}{\partial \varphi}. \quad (13)$$

b_1. Condițiile la limite pentru $p_0^*(r, \varphi)$ sînt:

$$p_0^*(r = R_i, \varphi) = p_i \text{ și } p_0^*(r, \varphi = 0) = p_i,$$

în care $R_i \leqslant r \leqslant R_i + L$, adică la fel ca pentru $p_0(r, \varphi)$.

Se consideră că se poate scrie:

$$p_0(r, \varphi) \approx p_0^*(r, \varphi) \quad (14)$$

și neglijîndu-se prin aceasta influența lui $h(\varphi)$ în (12).

b_2. Dacă în (12) se consideră $h(\varphi) \approx$ const. atunci ea se transformă într-o ecuație Laplace, la fel cu (9), iar soluția ei se poate obține cu ajutorul transformărilor conforme [2, 3] sub forma curbelor de presiune constantă (fig. 3), care se pot determina cu ajutorul relației:

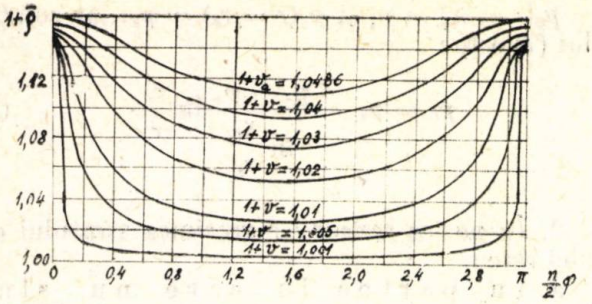


Fig. 3. Curbele de presiune constantă $1+\bar{\rho}(\varphi)$ pentru $1{,}001 \leqslant 1+v \leqslant 1{,}0486$; $1+a \approx 1{,}145$; $1+\rho_1 = 1{,}161$; $1+v_a \approx 1{,}0486$

$$sh^2\frac{n}{2}\ln(1+\bar{\rho})\Bigg]\cdot\left\{\frac{\sin^2\left(\frac{n}{2}\varphi\right)}{sh^2\left[\frac{n}{2}\ln(1+v)\right]}+1\right\}-$$

$$-\sin^2\left(\frac{n}{2}\varphi\right)=ch^2\left[\frac{n}{2}\ln(1+v)\right]\cdot$$

$$\cdot ch^2\left[\frac{n}{2}\ln(1+a)\right]-1, \qquad (15)$$

iar presiunile pe aceste curbe sînt :

$$p_0^* = p_0 = p_i - \frac{p_i - p_a}{\ln(1+v_a)}\cdot\ln(1+v) \quad (16)$$

în care :

$$1+\bar{\rho} = \frac{r}{R_i} \quad (17); \qquad 1+a = \frac{R_i+L}{R_i} \quad (18)$$

$$1+v = \frac{r^*}{R_i} \quad (19); \qquad 1+v_a = \frac{R_a}{R_i} \quad (20)$$

Valoarea lui $1+v_a$, respectiv R_a rezultă din relaţia :

$$ch\left[\frac{n}{2}\ln(1+\bar{\rho}_e)\right] = ch\left[\frac{n}{2}\ln(1+v_a)\right]\cdot$$

$$\cdot ch\left[\frac{n}{2}\ln(1+a)\right], \qquad (21)$$

în care :

$$1+\bar{\rho}_e = \frac{R^*}{R_e} \qquad (22)$$

şi $$R_i \leqslant r^* \leqslant R_a.$$

b_3. Presiunea $p_0(r, \varphi)$ acţionează pe toată coroana cuprinsă între R_i şi $R_e^*(\varphi)$, iar presiunea p_b apare numai în cele n buzunare. Presiunea $p_1(r)$ acţionează pe toată suprafaţa activă a cuzinetului.

b_4. Condiţiile la limite pentru $p_b(r, \varphi)$ sînt :

$$p_b(r = R_i, \varphi) = 0\,; \quad p_b[r = R_i + L, \varphi] = 0 \quad (23)$$

$$p_b(r, \varphi = 0) = 0, \quad p_b(r, \varphi = \Phi_b) = 0 \quad (23^*)$$

în care :

$$\Phi_b = \frac{B}{R_i + \frac{L}{2}}. \qquad (24)$$

b_5. Soluţia $p_b(r, \varphi)$ a ecuaţiei (12) se obţine sub formă numerică şi în acest scop se introduc notaţiile :

$$r = R_i + y \quad (25); \quad r\varphi = x \quad (26); \quad \bar{x} = \frac{x}{B}, \quad (27)$$

$$\bar{y} = \frac{y}{L} \quad (28); \quad \bar{h} = \frac{h}{h_2} \quad (29); \quad R_m = R_i + \frac{L}{2}, \quad (30)$$

$$\frac{h_1}{h_2} = a^* \quad (31) \text{ şi } \bar{p}(\bar{x}, \bar{y}) = \frac{p_b}{\frac{6\mu V B}{h_2^2}}, \quad (32)$$

în care : $V = R_m\,\Omega$ (33)

şi considerînd că $\dfrac{1+\dfrac{y}{R_i}}{1+\dfrac{L}{2R_i}} \approx 1$ se va putea scrie (12) sub forma :

$$\frac{\partial}{\partial\bar{x}}\left(\bar{h}^3\frac{\partial\bar{p}}{\partial\bar{x}}\right)+\left(\frac{B}{L}\right)^2\frac{\partial}{\partial\bar{y}}\left(\bar{h}^3\frac{\partial\bar{p}}{\partial\bar{y}}\right) = -(a^*-1) \qquad (34)$$

a cărei soluţie se scrie sub forma :

$$\bar{p}(\bar{x}, \bar{y}) = \sum_{n^*=1,3,5}^{\infty}\frac{H_n^*(\bar{x})}{\bar{h}}\frac{\sin n^*\pi\bar{y}}{n^*}, \qquad (35)$$

din (34) se obţine ecuaţia :

$$\bar{h}^2\frac{d^2H_n^*}{d\bar{x}^2} - \bar{h}(a^*-1)\frac{dH_n^*}{d\bar{x}} -$$

$$-(a^*-1)^2\left[1+\left(n^*\pi\frac{B}{L}\frac{\bar{h}}{a^*-1}\right)^2\right]H_n^* =$$

$$= -\frac{4}{\pi}(a^*-1) \qquad (36)$$

în care s-a ţinut seama că :

$$\sum_{n^*=1,3,5}^{\infty} \frac{\sin n^*\pi\bar{y}}{n^*} = \frac{\pi}{4} \qquad (37)$$

b_6. Pentru rezolvarea ecuaţiei (36) cu ajutorul diferenţelor finite se scrie :

$$\left(\frac{dH_{n^*}}{d\bar{x}}\right)_j \cong \frac{H_{n^*j+1/2} - H_{n^*j-1/2}}{\Delta\bar{x}} \qquad (38)$$

$$\left(\frac{d^2H^*_n}{d\bar{x}^2}\right)_j \cong \frac{H_{n^*,j+1} - 2H^*_{n^*,j} + H_{n^*,j-1}}{\Delta\bar{x}^2} \qquad (39)$$

şi

$$H_{n^*,j+1/2} - H_{n^*,j-1/2} \cong \frac{1}{2}(H_{n^*,j+1} - H_{n^*,j-1}). \qquad (40)$$

Din condiţiile la limite pentru $p_b(r, \varphi)$ rezultă :

$$H_{n^*,0} = 0 \text{ şi } H_{n^*,,j} = 0 \qquad (41)$$

în care j este valoarea finală ($j = 0, 1,2,3, \ldots j$).

Introducînd pe (38), (39), (40) şi (41) în (36) se ajunge la sistemul de $j - 2$ ecuaţii liniare cu $j - 2$ necunoscute :

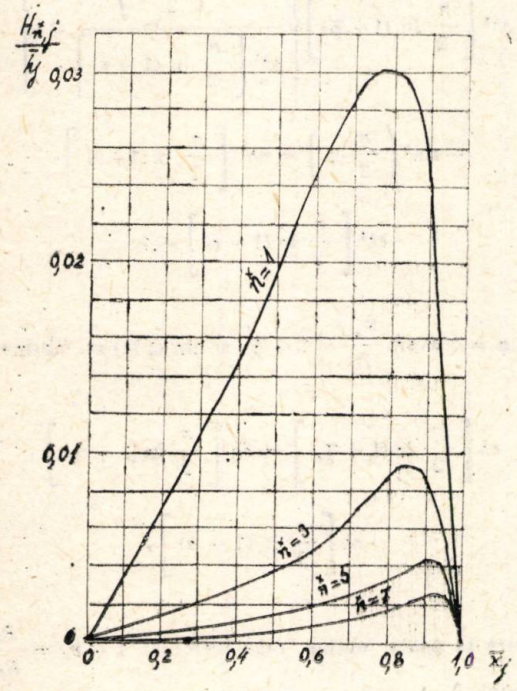


Fig. 4. Curbele $\frac{H_{n^*,j}}{\bar{h}_j} = f(\bar{x}_j)$ pentru $a^* = 3$; B = L; n = 1, 3, 5, 7.

$$\left[1 - (a^* - 1)\frac{\Delta\bar{x}}{2\bar{h}_j}\right] H_{n^*,j+1} -$$

$$- \left\{2 + (a^* - 1)^2 \frac{\Delta\bar{x}^2}{\bar{h}_j^2}\left[1 + \right.\right.$$

$$\left.\left. + \left(n^*\pi \frac{B}{L}\frac{\bar{h}_j}{a^* - 1}\right)^2\right]\right\} H_{n^*}{}^j +$$

$$+ \left[1 + (a^* - 1)\frac{\Delta\bar{x}}{2\bar{h}_j}\right] H^*_{n,j-1} - 1 =$$

$$= -\frac{4}{\pi}(a^* - 1)\frac{\Delta\bar{x}^2}{\bar{h}_j^2}. \qquad (42)$$

În figura 4 sînt reprezentate curbele $\frac{H_{n^*,j}}{\bar{h}_j} = f(\bar{x}_j)$ pentru :

$a^* = 3$; $B = L$; $\Delta\bar{x} = 0{,}1$ şi $n^* = 1, 3,5,7$.

ANEXA 1

1. Reprezentarea conformă a domeniului D din exteriorul unui cerc prevăzut cu n tăieturi (fig. 5) pe domeniul Δ din exteriorul unui cerc fără tăieturi (fig. 6) se face cu ajutorul funcţiei olomorfe [3]:

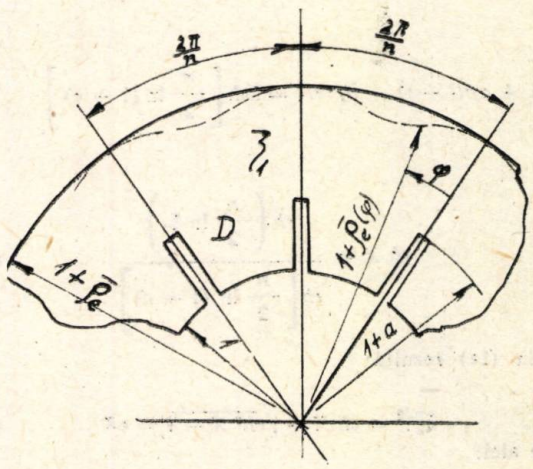


Fig. 5. Domeniul D din exteriorul unui cerc prevăzut cu n tăieturi.

$$\xi_2 = \left\{\frac{\xi_1^{n/2} + \xi_1^{-n/2}}{(1+a)^{n/2} + (1+a)^{-n/2}} + \right.$$

$$\left. + \sqrt{\left[\frac{\xi_1^{n/2} + \xi_1^{-n/2}}{(1+a)^{n/2} + (1+a)^{-n/2}}\right]^2 - 1}\right\}^{2/n} \qquad (1a)$$

în care

$$\xi_1 = (1 + \bar{\rho})e^{i\varphi} \qquad (2a)$$

$$\xi_2 = (1 + v)e^{i\psi} \qquad (3a)$$

sînt variabilele complexe din domeniile D şi respectiv Δ, iar:

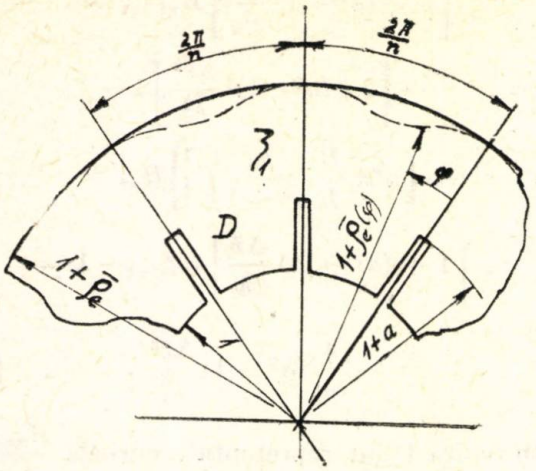


Fig. 6. Domeniul Δ din exteriorul unui cerc fără tăieturi.

$$\alpha = \frac{L}{R_i} \tag{4a}$$

este înălțimea tăieturilor.

Dar se poate scrie:

$$\xi_1^{n/2} + \xi_1^{-n/2} = 2ch\left(\frac{n}{2}\ln\xi_1\right) \tag{5a}$$

și

$$(1+\alpha)^{n/2} + (1+\alpha)^{-n/2} = 2ch\left[\frac{n}{2}\ln(1+\alpha)\right] \tag{6a}$$

și

$$ch\,X = \frac{ch\left(\frac{n}{2}\ln\xi_1\right)}{ch\left[\frac{n}{2}\ln(1+\alpha)\right]} \tag{7a}$$

și din (1a) rezultă:

$$\xi_2^{n/2} = ch\,X + \sqrt{ch^2X - 1} = e^X \tag{8a}$$

și de aici:

$$X = \frac{n}{2}\ln\xi_2. \tag{9a}$$

Din (7a) se obține:

$$ch\left(\frac{n}{2}\ln\xi_2\right) = \frac{ch\left(\frac{n}{2}\ln\xi_1\right)}{ch\left[\frac{n}{2}\ln(1+\alpha)\right]}. \tag{10a}$$

Introducînd pe (2a) și (3a) în (10a) și separînd părțile reale de cele imaginare se obține:

$$\frac{ch\left[\frac{n}{2}\ln(1+\bar\rho)\right]}{ch\left[\frac{n}{2}\ln(1+\alpha)\right]}\cdot\cos\left(\frac{n}{2}\varphi\right) =$$

$$= ch\left[\frac{n}{2}\ln(1+v)\right]\cdot\cos\left(\frac{n}{2}\psi\right) \tag{11a}$$

$$\frac{sh\left[\frac{n}{2}\ln(1+\bar\rho)\right]}{ch\left[\frac{n}{2}\ln(1+\alpha)\right]}\cdot\sin\left(\frac{n}{2}\varphi\right) =$$

$$= sh\left[\frac{n}{2}\ln(1+v)\right]\cdot\sin\left(\frac{n}{2}\psi\right) \tag{12a}$$

Din (11 a) și (12 a) rezultă:

$$1 = \sin^2\left(\frac{n}{2}\psi\right) + \cos^2\left(\frac{n}{2}\psi\right) = \frac{1}{ch^2\left[\frac{n}{2}\ln(1+\alpha)\right]}\cdot$$

$$\cdot\left\{\frac{sh^2\left[\frac{n}{2}\ln(1+\bar\rho)\right]}{sh^2\left[\frac{n}{2}\ln(1+v)\right]}\cdot\sin^2\left(\frac{n}{2}\varphi\right) + \right.$$

$$\left. + \frac{ch^2\left[\frac{n}{2}\ln(1+\bar\rho)\right]}{ch^2\left[\frac{n}{2}\ln(1+v)\right]}\cdot\cos^2\left(\frac{n}{2}\varphi\right)\right\}, \tag{13a}$$

care se mai poate scrie:

$$sh^2\left[\frac{n}{2}\ln(1+\bar\rho)\right]\left\{\frac{\sin^2\left(\frac{n}{2}\varphi\right)}{sh^2\left[\frac{n}{2}\ln(1+v)\right]} + 1\right\} -$$

$$- \sin^2\left(\frac{n}{2}\varphi\right) = ch^2\left[\frac{n}{2}\ln(1+v)\right]\cdot$$

$$\cdot ch^2\left[\frac{n}{2}\ln(1+\alpha)\right] - 1. \tag{14a}$$

La $\varphi = 0$ avem $\frac{R_e}{R_i} = 1 + \bar\rho_e$ și din (13a) se obține

$$ch\left[\frac{n}{2}\ln(1+\bar\rho_e)\right] = ch\left[\frac{n}{2}\ln(1+v_\alpha)\right]\cdot$$

$$\cdot ch\left[\frac{n}{2}\ln(1+\alpha)\right], \tag{15a}$$

din care se poate obține raza cercului $1 + \bar v_\alpha = \frac{R_\alpha}{R_i}$ din domeniul Δ.

Din (14a) se obține prin calcul numeric curba:

$$1 + \bar\rho = f(\varphi) \tag{16a}$$

care corespunde cercului $1 + v = \text{const.}$ din domeniul Δ.

2. Funcția olomorfă:

$$F(\xi_1) = p(\xi_1, \eta_1) + iq(\xi_1, \eta_1), \tag{17a}$$

în care $\xi_1 = \xi_1 + i\eta_1$ îndeplinește condițiile lui Cauchy-Riemann:

$$\frac{\partial p}{\partial \xi_1} = \frac{\partial q}{\partial \eta_1} \tag{18a}$$

și

$$\frac{\partial p}{\partial \eta_1} = -\frac{\partial q}{\partial \xi_1}. \tag{19a}$$

Din (18a) și (19a) se obține:

$$\frac{\partial^2 p}{\partial \xi_1^2} + \frac{\partial^2 p}{\partial \eta_1^2} = 0 \tag{20a}$$

adică ecuația lui Laplace, care în coordonatele cilindrice r, φ, z se mai scrie:

$$\frac{\partial}{\partial r}\left(r\frac{\partial p}{\partial r}\right) + \frac{\partial^2 p}{r\partial \varphi^2} = 0 \tag{21a}$$

și în care $\dfrac{\partial p}{\partial z} = 0$.

3. Fie $\xi_1 = f(\xi_2)$ o funcție olomorfă care reprezintă planul variabilei $\xi_2 = \xi_2 + i\eta_2$ pe planul variabilei ξ_1. Se poate scrie:

$$p(\xi_1, \eta_1) + iq\ (\xi_1, \eta_1) = F(\xi_1) = F[f(\xi_2)] = F^*(\xi_2) = \\ = p^*(\xi_2, \eta_2) + iq^*(\xi_2, \eta_2). \tag{22a}$$

Dar $F^*(\xi_2)$ fiind olomorfă îndeplinește condițiile lui Cauchy–Riemann, din care rezultă ecuația lui Laplace:

$$\frac{\partial^2 p^*}{\partial \xi_2^2} + \frac{\partial^2 p^*}{\partial \eta_2^2} = 0, \tag{23 a}$$

care în coordonate cilindrice r^*, ψ, z se mai scrie:

$$\frac{\partial}{\partial r^*}\left(r^*\frac{\partial p^*}{\partial r^*}\right) + \frac{\partial^2 p^*}{r^*\partial \psi^2} = 0. \tag{24 a}$$

Dacă $\dfrac{\partial p^*}{\partial \psi} = 0$ atunci (24a) devine:

$$\frac{d}{dr^*}\left(r^*\frac{dp^*}{dr^*}\right) = 0. \tag{25a}$$

Condițiile la limite pentru $p^*(r^*)$ le considerăm:

$$p^*(r^* = R_i) = p_i \text{ și } p^*(r^* = R_a) = p_a$$

și soluția lui (25a) va fi:

$$p^* = p_i - \frac{p_i - p_a}{\ln(1 + v_a)} \ln(1 + v), \tag{26 a}$$

în care:

$$1 + v = \frac{r^*}{R_i}; \qquad 1 + v_a = \frac{R_a}{R_i}.$$

Dar, în baza lui (22a) avem:

$$p^*(r^*) = p(r, \varphi), \tag{27 a}$$

adică (26a) dă și presiunile pe curbele $1 + \bar{r}$ (φ corespunzătoare cercurilor $1 + v$.

ANEXA 2

Ecuația lui Reynolds pentru etanșările frontale

În cazul etanșărilor se consideră μ și ρ constante, uleiul incompresibil, forțele de gravitație și cele de inerție neglijabile cu excepția forței centrifuge, iar tensiunile de frecare vor fi numai cele produse de valoarea maximă a gradientului de viteză. Deci ecuațiile de mișcare a unei particule de ulei sînt:

$$\frac{\partial p}{\partial r} - \rho\frac{v_\varphi^2}{r} = \mu\frac{\partial^2 v_r}{\partial z^2}, \tag{1 b}$$

$$\frac{\partial p}{r\,\partial \varphi} = \mu\frac{\partial^2 v_\varphi}{\partial z^2}, \tag{2b}$$

$$\frac{\partial p}{\partial z} = 0, \tag{3b}$$

deoarece se consideră $v_z \cong 0$.

Condițiile la limite pentru v_φ sînt:

$$v_\varphi(z = 0) = r\Omega \text{ (4b) și } v_\varphi(z = h) = 0; \tag{5b}$$

din (2b) rezultă:

$$v_\varphi = \frac{1}{2\mu}\frac{\partial p}{r\partial \varphi} z(z - h) + r\Omega\left(1 - \frac{z}{h}\right). \tag{6b}$$

Condițiile la limite pentru v_r sînt:

$$v_r(z = 0) = 0 \quad \text{și} \quad v_r(z = h) = 0$$

și considerînd că în (1b) se poate scrie:

$$v_\varphi \cong r\Omega\left(1 - \frac{z}{h}\right), \tag{7b}$$

din (1b) se obține:

$$v_r = \frac{1}{2\mu}\frac{\partial p}{\partial r} z(z - h) + \frac{\rho}{\mu} r\Omega^2 z\left(\frac{h}{4} - \frac{z}{2} + \right. \\ \left. + \frac{z^2}{3h} - \frac{z^3}{12h^2}\right). \tag{8b}$$

Din ecuația de continuitate:

$$\frac{\partial(rv_r)}{\partial r} + \frac{\partial v_\varphi}{\partial \varphi} = 0 \tag{9b}$$

deoarece $v_z \cong 0$ se obține:

$$\int_0^{h(\varphi)} \frac{\partial(rv_r)}{\partial r}\,dz + \int_0^{h(\varphi)} \frac{\partial v_\varphi}{\partial \varphi}\,dz = 0, \tag{10b}$$

care, pentru condițiile etanșării frontale, se mai poate scrie:

$$\frac{\partial}{\partial r}\int_0^{h(\varphi)} rv_r\,dz + \frac{\partial}{\partial \varphi}\int_0^{h(\varphi)} v_\varphi\,dz = 0 \tag{11b}$$

și ținînd seama de (6b) și (8b) se obține din (11b):

$$\frac{\partial}{\partial r}\left(\frac{h^3}{\mu} r\frac{\partial p}{\partial r}\right) + \frac{\partial}{\partial \varphi}\left(\frac{h^3}{\mu}\frac{\partial p}{r\partial \varphi}\right) = \\ = 6r\Omega\frac{\partial h}{\partial \varphi} + 0{,}3\rho\Omega^2\frac{\partial}{\partial r}\left(\frac{h^3}{\mu} r^2\right) \tag{12b}$$

care este ecuația lui Reynolds.

Bibliografie

[1] Constantinescu, V. N. *Dinamica fluidelor viscoase în regim lamiar.* Editura Academiei Republicii Socialiste România, 1987.

[2] Șabac, I. Gh. *Matematici speciale*, vol. 2. Editura Didactică și Pedagogică, București, 1965.

[3] Lavrentiev, M., Chabat, B. *Méthodes de la théorie des fonctions d'une variable complexe.* Editions Mir Moscou, 1972.

(Primit la 4 ianuarie 1988, acceptat la 13 februarie 1989)

Sporirea puterii livrate în Sistemul Energetic Național de o centrală electrică funcționînd pe hidrocarburi

Ing. VLADIMIR NICU*

Descriptori : centrale electrice, hidrocarburi

CZ : 621.311.161 : 621.311.005

În lucrare autorul expune condițiile reale de funcționare ale echipamentelor unei centrale, care, conform exemplificărilor, pot fi îmbunătățite în scopul creșterii puterii livrate.

The author presents the real operation conditions of the power plant equipment, which, according to the examples, can be improved in order to increase the delivered power

Centralele electrice funcționînd pe hidrocarburi pot contribui la sporirea puterii livrate în SEN prin diminuarea indisponibilităților de putere temporare și permanente, de care sînt afectate echipamentele de bază și cele auxiliare.

O preocupare permanentă a personalului de exploatare a centralei, luată în considerare, este și aceea de livrare a puterii maxime în SEN.

Pornind de la relațiile generale :

$$P_L = P_b - P_{st} \tag{1}$$

$$P_b = P_t - \Delta P_t \tag{2}$$

$$P_{st} = P_{st0} + m \cdot P_b \tag{3}$$

unde :

P_L este puterea livrată ;
P_b — puterea produsă la bornele generatoarelor ;
P_t — puterea instalată a centralei ;
ΔP_t — indisponibilități de putere ;
P_{st} — puterea consumată de serviciile interne ale centralei ;
P_{st0} — consumul de mers în gol al serviciilor interne ;
$m = \frac{\Delta P_{st}}{\Delta P_b}$ — creșterea relativă a consumului intern

relația (1) devine

$$P_L = (1 - y)(1 - x - m) \cdot P_t = c(y, x, m) P_t \tag{1'}$$

în care :

$Y = \frac{\Delta P_t}{P_t}$ este indisponibilitatea relativă de putere a echipamentului de bază ;

$X = \frac{P_{st0}}{P_b}$ — consumurile interne relative de mers în gol (conform relației (3)).

Se constată că puterea livrată este maximă dacă se îndeplinește condiția :

$$Y = 0,\ X = \min,\ m = \min.$$

În cele ce urmează se evidențiază unele condiții specifice de funcționare a echipamentelor din centrala electrică considerată, urmărindu-se evaluarea puterilor respective și stabilirea măsurilor [1] de combatere a diminuării puterii livrate. Exemplele selectate se rezumă la următoarele :

1. Degradarea avansată a sistemului de irigare — stropire la turnurile de răcire cu plăci de azbociment duce la creștereă temperaturii apei răcite și scăderea vidului în condensatoarele turbinelor. Se produce o dimensionare a puterii dezvoltate în regim de condensație pe grup sau etapă :

$$\Delta P_{LT}\Big|_{D_t = \text{const.}} = \left(1 - \frac{H_K}{H_{0K}}\right) P_{0K}, \tag{4}$$

unde :

ΔP_{LP} este reducerea puterii livrate ;
D_t — debitul de abur la intrare în sala turbinelor impus de consumul de combustibil ;
P_{0K} — puterea în regim de condensație pe centrală la vid normal ;
H_K, H_{0K} — destinderea reală a aburului în turbine la vid scăzut (H_K) și la vid normal (H_{0K}).

Eliminarea acestei indisponibilități se realizează prin readucerea la funcționarea normală a turnurilor de răcire, efectuînd reparații, preferabil în perioada sezonului rece.

* Ing. Vladimir Nicu — CET Brazi

2. Necorelarea multiplului de răcire în sezonul rece cu mărimea „cozilor" în condensație ale turbinelor de termoficare poate constitui o cauză a reducerii puterii livrate.

Avînd în vedere efectele contradictorii ale variației debitului de apă de răcire asupra puterii electrice produse în condensație și asupra consumului de putere al pompelor de răcire, rezultă existența unui debit optim de răcire pentru fiecare încărcare a „cozii" în condensație și în anumite condiții climatice.

Funcționarea cu un debit de răcire mai mare decît cel optim majorează consumul de servicii proprii, iar reducerea debitului de răcire conduce la scăderea puterii produse la bornele generatorului. În CET cu turbine cu condensație și prize reglabile, la care „coada de condensație" este slab folosită în regimul de iarnă, situația uzuală în acest sezon este cînd debitul de apă de răcire este mai mare decît cel optim.

3. Manipularea păcurii vîscoase 300/50 — S atrage după sine consumuri importante de energie termică la gospodăria de combustibil lichid:

$$Q_p = Q_{fp} + Q_{pp} + Q_{ca} + Q_{sc} + Q_{rp}, \qquad (5)$$

unde:

Q_p este consumul orar total de energie termică;
Q_{fp} — consumul pentru fluidizarea păcurii în navetele CFR, în vederea descărcării;
Q_{pp} — consumul pentru preîncălzirea păcurii;
Q_{ca} — consumul caloriferelor de aer ale cazanelor;
Q_{sc} — consumul pentru suflarea periodică a cazanelor;
Q_{rp} — energie termică reziduală pierdută în atmosferă.

Adeseori Q_{fp}, Q_{ca}, Q_{rp} din (5) devin exagerate, afectînd consumul de combustibil pe centrală și deci puterea electrică livrată:

$$\Delta P_{LQ} \approx \frac{\Delta Q_p}{q_m}, \qquad (6)$$

în care:

ΔP_{LP} este reducerea puterii livrate;
ΔQ_p — sporul de consum de căldură la gospodăria de păcură datorat utilizării unei păcuri inferioare celei pentru care a fost proiectată centrala;
q_m — consumul specific de căldură pe centrală.

Măsurile menite să diminueze indisponibilitatea puterii livrate sînt:

— evitarea răcirii exagerate a navetelor cu păcură prin scurtarea timpilor de manevră și de rulare a acestora între furnizori și centrala electrică;

— punerea în circulație a navetelor cu izolație termică;

— recuperarea căldurii reziduale la rampa de păcură.

4. Arderea păcurii vîscoase se soldează, în cele din urmă, cu apariția de zgură și cenușă pe suprafețele din drumul II de gaze arse și pe fagurii preîncălzitoarelor de aer regenerative. Apar, de asemenea, depuneri zgurificate tari pe statorul și rotorul ventilatoarelor de gaze arse. Rezultă obturări serioase în drumul gazelor de ardere și în circuitul aerului primar, debitul de abur al cazanului scăzînd progresiv.

Reducerea puterii livrate, definită ca sumă a reducerilor parțiale, reprezintă, în fond, niște diferențe de consum față de o stare inițială nominală [2]:

$$\Delta P_{LPV} = \Delta P_{CZ} + \Delta P_{VA} + \Delta P_{VG} =$$

$$= \frac{\Delta D_{CZ}}{d_t} + \left(\frac{H_A \cdot \eta_{A0}}{H_{A0} \cdot \eta_A} - 1\right) P_{VA0} +$$

$$+ \left(\frac{H_G \cdot \eta_{VG0}}{H_{G0} \cdot \eta_{VG}} - 1\right) P_{VG0}, \qquad (7)$$

unde:

ΔP_{LVP} este reducerea puterii livrate;
ΔD_{CZ} — scăderea debitului de abur al sălii cazanelor ca urmare a reducerii randamentului acestora;
d_t — consumul specific de abur al sălii turbinelor;
P_{VA0}, P_{VG0} — puterile absorbite, în condiții normale, de electroventilatoarele de aer și gaze arse;
$H_A > H_{A0}$ — presiunile (exprimate în unități de presiune) create de ventilatoarele de aer primar;
$H_G > H_{G0}$ — presiunile create de ventilatoarele de gaze arse;
η_A, η_{A0}, η_{VG}, η_{VG0} — randamentele ventilatoarelor de aer (η_A, η_{A0}) și de gaze arse (η_{VG}, η_{VG0}), indicele 0 referindu-se la regimul normal.

Pentru eliminarea efectelor negative la funcționarea pe păcură vîscoasă este necesar să se adopte următoarele măsuri:

— preîncălzirea păcurii la 180°C;
— reglarea și controlul permanent al excesului de aer în focar;
— aplicarea unui sistem eficace de suflare a depunerilor în cazan;

— aditivarea păcurii introduse în consum;
— înlăturarea depunerilor din cazan și din ventilatoarele de gaze arse la intervale optime [3].

5. Consumul de energie al electropompelor din secția de epurare chimică are loc simultan în instalațiile de demineralizare totală, dedurizare și de pretratare a apei; debitele astfel rezultate sînt necesare ciclului termic.

O formă de exprimare a puterii consumate, pe ansamblul acestor instalații, este:

$$P_{CH} = e_1 W_1 + e_2 W_2 + e_3 W_3,$$

unde:

P_{CH} este puterea consumată;
$e_{1;2,3}$ — consumurile specifice de energie;
$W_{1,2,3}$ — debitele demineralizat total, dedurizat și pretratat.

Situațiile în care apar supraconsumuri de putere, ce afectează puterea livrată, vor depinde în cazul general, numai de variațiile pozitive ale lui e și W, în condițiile puterii pe centrală și livrărilor de abur tehnologic și apă caldă constante:

$$\Delta P_{CH} = \Delta e_1 W_1 + \Delta e_2 W_2 + \Delta e_3 W_3 + e_1 \Delta W_1 + e_2 \Delta W_2 + e_3 \Delta W_3. \quad (8)$$

Se conturează, astfel, măsurile ce pot contribui la diminuarea indisponibilităților de putere livrate:

— creșterea gradului de returnare a condensatului din partea consumatorilor termici;
— reducerea pierderilor de apă — abur în centrală;
— creșterea gradului de recirculare a apei în stația de demineralizare totală;
— utilizarea filtrelor schimbătoare de ioni cu ciclu mărit de funcționare;
— înlocuirea motoarelor supradimensionate;
— introducerea stației de finisare a condensatului de bază din centrală utilizînd filtre ionice cu pat mixt etc.

6. Utilizarea turbopompei de alimentare (TPA), îndeosebi la blocurile energetice de mare putere (electropompele menținîndu-se în rezervă), este eficientă din două puncte de vedere: se poate obține o putere electrică maximă livrată de blocuri și o reducere a consumului specific de combustibil cu 1,1 — 1,5% raportat la puterea netă [4].

Indisponibilitatea TPA se concretizează în reducerea puterii livrate;

$$\Delta P_{LTP}\Big|_{D_t = \text{const.}} = P_{EPA} - \Delta P_B = P_{EPA} - \frac{D_{TP} \cdot H_{mj} \cdot \eta_m \eta_g}{860}, \quad (9)$$

unde:

ΔP_{LTP} este reducerea puterii livrate;
P_{EPA} — putere consumată de electropompele de alimentare;
ΔP_B — creșterea puterii blocului la debit constant de abur viu, cînd se utilizează electropompele de alimentare;
D_{TP} — debitul de abur consumat de TPA;
H_{mj} — destinderea reală (internă) a aburului TPA în treptele de medie și joasă presiune ale turbinei principale, între priza TPA și condensator;
$\eta_m \eta_g$ — produsul între randamentul mecanic al turbinei și randamentul generatorului.

Asigurarea fiabilității în funcționarea TPA este o sarcină de prim ordin a personalului de exploatare.

7. Limitarea parametrilor aburului primar și a celui intermediar la intrarea în turbine a condus la indisponibilitate de putere în centrala considerată.

Aceste limitări au avut în vedere micșorarea rezistenței mecanice a materialului după 60 000 ore de funcționare sau degradări premature ale unor oțeluri care au lucrat în regimuri termice inadecvate.

Reducerea puterii livrate, în acest caz, este:

$$\Delta P_{LPA} = \Delta P_1(\Delta D_{CZ}) + \Delta P_2(\Delta p_0, \Delta t_0, \Delta t_t) = \frac{\Delta D_t \cdot H_{ech} \cdot \eta_m \eta_g}{860} + \Delta P_2, \quad (10)$$

în care:

ΔP_{LPA} este reducerea puterii livrate;
ΔP_1 — reducerea puterii datorită scăderii debitului de abur la cazanul blocului;
ΔD_t — reducerea debitului de abur la intrare în turbină;
ΔP_2 — reducerea puterii datorită scăderii parametrilor aburului, stabilită cu ajutorul diafragmelor firmei constructoare;
$\Delta p_0, \Delta t_0, \Delta t_t$ — reducerea presiunii și temperaturii aburului primar, respectiv a temperaturii aburului intermediar;
H_{ech} — destinderea reală echivalentă a aburului în turbine;
$\eta_m \eta_g$ — produsul randamentelor [conform (9)].

Eliminarea indisponibilității din (10) impune înlocuirea tubulaturii uzate sau necorespunzătoare la cazanele aflate în funcțiune.

8. Excesul de aer sporit în raport cu cel optim (strict necesar) în focar și la coș la cazanele în funcțiune necesită consumuri suplimentare de energie pentru instalațiile auxiliare ale acestora. În plus, apare o reducere a randamentului cazanului prin creșterea căldurii sensibile a gazelor la coș. Dacă se ia în considerare numai primul efect, reducerea puterii livrate este:

$$\Delta P_{LEA} = \frac{\Delta V_A}{102}\left(\frac{\gamma_A \cdot H'_A}{\eta_{VA} \cdot \eta_{mA}} + \frac{\varkappa \cdot \gamma_G \cdot K_T \cdot H'_G}{\eta_{VG} \cdot \eta_{mG}}\right), \tag{11}$$

în care, ținînd seama de precizările la relația (7):

ΔP_{LEA} este reducerea puterii livrate;
ΔV_A — debitul suplimentar de aer;
γ_A, γ_G — greutatea specifică a aerului, respectiv a gazelor arse;
η_{mA}, η_{mG} — randamentul motorului de antrenare a ventilatorului de aer, respectiv a ventilatorului de gaze arse;
H'_A, H'_G — presiunile exprimate de înălțimea coloanelor de aer și gaze arse;
K_T — coeficient care ține seama de temperatura absolută a gazelor arse evacuate la coș;
$\varkappa$ — coeficient care ține seama de aspirațiile de aer fals în cazan.

Reglarea excesului de aer la valori optime și eliminarea aspirațiilor de aer fals în cazan, constituie remediu direct de creștere a puterii livrate.

9. Funcționarea la sarcini parțiale a grupurilor în contrapresiune conduce la indisponibilități de putere livrată:

$$\Delta P_{LCP} = Y_m \cdot \Delta Q_{CP}, \tag{12}$$

în care:

ΔP_{LCP} este reducerea puterii livrate;
Y_m — producția specifică medie de energie aferentă aburului livrat;
ΔQ_{CP} — reducerea livrărilor de energie termică prin contrapresiune.

Pentru eliminarea acestui tip de indisponibilitate este necesar ca platformele industriale să adopte măsuri concrete, vizînd utilizarea capacităților instalate de livrare a energiei termice din contrapresiunea turbinelor.

10. Consumul specific de energie pentru pompajul apei calde în rețeaua de termoficare se stabilește conform relației generale:

$$e_T = \frac{P_p}{Q_T} = \frac{H}{\mathrm{K} \cdot \eta_m \cdot \eta_p \cdot \eta_{CH} \cdot \Delta t} \tag{13}$$

în care:

P_p este puterea consumată de electropompă;
Q_T — debitul caloric livrat;
H — presiunea dezvoltată de pompă;
η_m, η_p, η_{CH} — randamentul mediu al motorului, pompei și cuplei hidraulice;
K — constantă;
Δt — încălzirea apei.

Din (13) se desprind măsurile de aplicat privind mișcarea lui e_T:

— dimensiunea lui H prin eliminarea rezistențelor hidraulice locale și în rețeaua termică exterioară;

— utilizarea pompelor adecvate regimului de vară;

— creșterea diferenței de temperatură a apei livrate.

Astfel se obține o creștere a puterii livrate:

$$\Delta P_{LRT} = (e_{T_1} - e_{T_2})\, Q_T. \tag{14}$$

11. Limitări de putere pot apărea la generatoare datorită creșterii accentuate a temperaturii apei de răcire în sezonul cald.

În ultimă instanță se urmărește nedepășirea temperaturii înfășurării statorice, cunoscînd că [5]:

$$t_s = t_s(t_H, S) = t_s(t_H, \sqrt{P^2+Q^2}), \tag{15}$$

unde:

t_S este temperatura înfășurării statorice;
t_H — temperatura hidrogenului aflat în generator;
S — puterea aparentă a generatorului;
P, Q — puterile activă și reactivă produse la generator.

Rezultă o scădere a puterii livrate la grupul turbogenerator în funcție de creșterea teperaturii apei de răcire:

$$\Delta P_{LSH} = \Delta P_{LSH}(\Delta t_r),$$

care, pe baza relației (15), impune luarea următoarelor măsuri:

— reducerea la minimum a lui Q;

— menținerea în stare curată a răcitoarelor de hidrogen;

— retubarea răcitoarelor uzate;

— asigurarea debitelor normale de răcire la răcitoare;

Tabelul 1

	Fără aplicarea măsurilor (ΔE_{LK}) [MWh/an]	După aplicarea măsurilor (ΔE_{LK}) [MWh/an]
Funcționarea turnurilor de răcire	52 500	0
Corelarea multiplului apei de răcire	7 500	0
Manipularea păcurii în cadrul gospodăriei	21 000	11 000
Arderea păcurii viscoase	4 200	2 000
Consumul de energie al stațiilor de epurare chimică	2 250	2 000
Utilizarea turbopompei de alimentare	7 350	0
Parametrii aburului la intrare în turbine	280 000	0
Excesul de aer la cazane	4 480	1 500
Utilizarea grupurilor în contrapresiune	225 000	100 000
Utilizarea electropompelor de rețea	2 025	500
Instalațiile de răcire ale generatoarelor	172 000	0
TOTAL	756 755	116 000

— trecerea apei de puțuri prin răcitoarele generatoarelor înainte de a fi preluată de stația de epurare.

Ținînd seama de relațiile (4) ... (16), în care reducerea puterii livrate apare ca o funcție de timp, reducerea anuală a puterii livrate poate fi exprimată astfel :

$$\Delta P_{Lm} = \frac{1}{8\,760} \sum_K \int_0^{\tau_k} \Delta P_{LK}(\tau_K)\, \mathrm{d}\tau_K.$$

Luîndu-se măsurile tehnico-organizatorice menționate, care s-au concretizat în creșterea factorului C din (1')

$$\Delta C = C(y_0, x_0, m_0) - C(y, x, m) \approx$$
$$\approx \Delta y + \Delta x + \Delta m,$$

în perioade comparabile de funcționare a unei centrale de 910 MW, s-au obținut efectele indicate în tabelul 1.

Rezultă creșterea puterii medii livrate :

$$\delta P_L = \Delta C \cdot P_i = \frac{(\Delta E_{LK})_1 - (\Delta E_{LK})_2}{8\,760} =$$

$$= \frac{756\,755 - 116\,000}{8\,760} = 73{,}14 \text{ MW}.$$

Concluzii

În lucrarea prezentată au fost scoase în evidență, plecînd de la experiența de exploatare a unei centrale de mare putere, rezervele interne în ceea ce privește sporirea puterii livrate în SEN.O măsură care se asociază cu cele menționate în lucrare, este diminuarea timpilor τ_K și implicit a cantităților de energie nelivrate.

Bibliografie

[1] Nicu, Vl. *Prevenirea creșterii consumului intern de energie în CET.* In : Energetica, 32, 1984, nr. 3, p. 111—112.

[2] Kostociki n, V. V. *Tiago — dutievie ustanovki tentralinîh electriceskih stanții.* In : Gosenergoizdat, 1950.

[3] Nicu, Vl. *Timpul optim de funcționare a unui cazan de abur între două revizii succesive ale suprafețelor de încălzire ale acestuia.* In : Energetica, 21, 1973, nr. 9, p. 421—422.

[4] Nicu, V. *Influențe ale turbopompei de alimentare asupra consumului de căldură al ciclului termic.* In : Energetica, 31, 1983, nr. 9, p. 410—412.

[5] Elektrosila, URSS : *Instrukția po expluatații turbogheneratora TV—60—2.*

(Primit la 12 mai 1988, acceptat la 22 septembrie 1988).

Supratensiunile de rezonanță care pot apărea la liniile de înaltă tensiune

Ing. ION CONECINI, ing. GABRIELA BANU, dr. ing. ION CHIUȚĂ *

Descriptori: liniile electrice de înaltă tensiune, supratensiuni

Lucrarea face o analiză a posibilităților de apariție a supratensiunilor de rezonanță la liniile de înaltă tensiune din rețelele electrice ale Sistemului Energetic Național și se bazează pe o serie de măsurători și constatări în stațiile și la liniile de înaltă tensiune.

The paper analyses resonance overvoltages occurrence possibilities within high voltage line of the National Power Grid. It bases in a series of measurements and determinations carried out within high voltage sub-stations and lines.

O serie de măsurători făcute în diferite stații din exploatarea rețelelor electrice de înaltă tensiune a relevat o cotă importantă de curenți armonici cu frecvențe între 100÷1250 Hz și distorsiunea tensiunii pînă la 12%.

În anumite condiții critice pot apărea în rețele fenomene de amplificare a curentului sau tensiunii la o anumită armonică. Acestea apar datorită circuitelor oscilante formate din inductanțele și capacitățile elementelor. Amplificarea undelor armonice face posibil ca o deformare slabă a undei lîngă sursa de armonici să fie cauza unor deformări importante la capătul liniilor lungi din rețelele electrice.

În anumite configurații ale sistemului de transport, frecvența proprie a acestuia se poate apropia de una dintre armonicile prezente în rețea. Acest caz de rezonanță poate conduce la perturbații grave sub forma supratensiunilor de rezonanță sau supracurenților. Aceste supratensiuni pot deveni periculoase pentru izolația rețelelor de F.I.T. deoarece ele au o acțiune de durată și pot atinge valori destul de mari.

Cunoscînd că în rețelele de 110 kV, 220 kV și 400 kV, nivelul relativ de izolație coboară pînă la valori între 2,1÷3, supratensiunile de durată, care conduc la îmbătrînirea izolației, devin mai periculoase decît la tensiunile inferioare unde nivelurile relative de izolație sînt mai ridicate (de ordinul 3,5÷5).

În rețelele de 220 kV, 400 kV posibilitatea amplificării tensiunilor și curenților armonici în regimul de rezonanță este mai mare datorită creșterii capacității liniilor și a puterilor de scurtcircuit.

Acești factori determină frecvențe proprii de oscilație mai scăzute în rețelele de 220 kV și 400 kV decît în rețelele de 110 kV, frecvențe care intră în spectrul de armonici generate de sursele din sistem.

După cum rezultă din datele obținute prin măsurare în diferite sisteme de 400 kV, din lucrări anterioare, frecvența proprie de oscilație a sistemelor are valori între 0,5 ÷ 3 kHz. Spectrul de frecvențe al curenților armonici măsurat în aceste rețele se întinde între 0,15 ÷ 1,25 kHz (armonica 3 . . . 25). Această comparație arată că în rețelele 220 kV și 400 kV este posibilă apariția fenomenului de rezonanță.

În studiul fenomenului de rezonanță se urmăresc două probleme principale :

— stabilirea domeniului în care este posibilă apariția acestui fenomen (respectiv stabilirea în funcție de parametrii rețelei a rangului armonicii pe care ar fi posibilă apariția fenomenului de rezonanță) :

— valorile maxime pe care le poate atinge curentul sau tensiunea armonică în cazul apariției fenomenului de rezonanță.

În acest sens studiile au fost orientate în următoarele direcții :

— stabilirea spectrului (distorsiunii) rezultant pe barele unei stații în funcție de caracteristicile surselor deformante și a configurației în care funcționează ;

— stabilirea modului în care se transmit armonicile în sistem și a corelației dintre spectrele armonice ale diferitelor puncte din rețea.

Studiul transmiterii armonicilor în rețelele de 220 kV și 400 kV stabilește domeniile în care este posibilă producerea fenomenului de rezonanță cu scopul de a determina configurațiile periculoase. S-au studiat oscilațiile armonice în liniile lungi și valorile maxime ce le pot atinge tensiunile de rezonanță.

Cunoscînd variația impedanței de intrare a liniilor lungi pentru o anumită frecvență armo-

* Ing. Ion Conecini, ing. Gabriela Banu — EREIT București, dr. ing. Ion Chiuță — Facultatea de Electrotehnică și Energetică, București.

nică, în funcție de lungime și sarcină, devine posibil în viitor să se elaboreze o prezentare a sistemului prin impedanțele armonice pentru fiecare armonică. Această reprezentare va scoate în evidență configurațiile care comportă pericol de supratensiuni pe armonici. Ea mai prezintă importanță și pentru cunoașterea frecvenței proprii de oscilație a rețelei în fiecare punct din sistem.

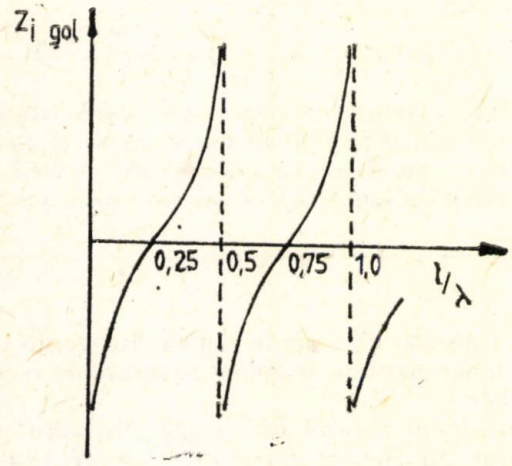


Fig. 1. Variația impedanței relative de intrare a unei linii lungi, în gol, funcție de frecvență.

Frecvența proprie de oscilație a sistemului pe barele stațiilor trebuie să fie cunoscută pentru alegerea aparatajului de comutație pentru 220 kV și 400 kV.

Normele internaționale de încercare a întrerupătoarelor prescriu viteza de creștere a tensiunii de restabilire în funcție de frecvența proprie de oscilație a rețelei în punctul de montare a aparatajului.

Determinarea frecvenței proprii a rețelelor de 220 kV și 400 kV prin măsurarea în rețea este legată de mari dificultăți. Chiar și acele metode de măsurare care nu necesită întreruperea funcționării comportă suficiente pericole și perturbarea exploatării normale.

Această valoare se determină de obicei pe modele de rețea pentru reprezentarea regimurilor tranzitorii sau în lipsa acestora prin calcul analitic.

A. Comportarea liniei lungi în gol la frecvențe armonice

a. Caracteristica de frecvență a liniei în gol

Impedanța de intrare a unei linii lungi în gol, considerînd linia fără pierderi :

$$Z_{i\,gol} = -jZ_c \operatorname{ctg}\beta \cdot l = -jZ_c \operatorname{ctg} \frac{2\pi l}{\lambda},$$

unde :

Z_c este impedanța caracteristică a liniei ;
l — lungimea linei ;
β — constanta de fază a liniei ;
λ — lungimea de undă.

S-a notat : $Z^*_{i\,gol} = \dfrac{Z_{i\,gol}}{Z_c}$.

Din figura (1) rezultă că impedanța de intrare variază în funcție de l/λ. Curba $Z^*_{i\,gol}$ este periodică și se repetă cu o perioadă $l/\lambda = 0{,}5$.

Pentru o frecvență armonică superioară impedanța de intrare a liniei în gol are expresia

$$Z_{i\,gol} = -jZ_c \operatorname{ctg} n\beta l = -jZ_c \operatorname{ctg} \frac{2\pi n l}{\lambda}.$$

Se observă că la o linie considerată fără pierderi, impedanța de intrare în gol este nulă la frecvențele armonice la care raportul λ/n (lungimea de undă la frecvența superioară) are valorile 0,25 sau 0,75.

În schimb, impedanța de intrare în gol este infinită la frecvențele la care $\lambda/n = 0{,}5$ și 1.

De observat că la o linie în gol, avînd lungimea de undă $\lambda/4$ impedanța de intrare $Z_{i\,gol}$ este teoretic nulă, ceea ce reprezintă un reim deg scurtcircuit.

Pentru o frecvență superioară de armonică n, impedanța de intrare în gol este nulă la linii de lungime $\lambda/4\ n$. La armonicile mai importante prezente în rețelele de 220 kV și 400 kV (armonicile 5,7, 11 și 13), lungimea $\lambda/4\ n$ corespunde unor valori uzuale la liniile de transport la acest nivel de tensiune. Prin urmare, cazul acestor linii în gol prezintă interes ca regim de rezonanță armonică.

b. Coeficientul de amplificare al liniei în gol

Considerînd că se aplică la intrarea într-o linie lungă în gol o sursă de tensiune armonică U_n, în anumite condiții linia constituie un amplificator al acestei tensiuni. La ieșire se va găsi tensiunea U_1 amplificată cu un coeficient α_u.

$$U_2 = U_1 \alpha_u.$$

Din ecuațiile liniei lungi, fără pierderi, în gol :

$$\alpha = \left|\frac{U_2}{U_1}\right|_{gol} = \frac{1}{\cos n\beta l}.$$

Tensiunea U_2 poate lua valori foarte mari pentru armonicile care fac unghiul de fazaj al liniei, $n\beta l$ să ia valori apropiate de $(2k + 1)\pi/2$, iar la valorile $n\beta l = (2k + 1)\pi/2$ tensiunea armonică la ieșire U_2 ar fi infinită dacă nu ar acționa

factorii de amortizare ai liniei. Pentru a determina valorile coeficientului de amplificare al liniei în gol în cazul cînd cos $n\beta l = 0$, se ține seama și de *constanta de atenuare dată de pierderile în linie* :

$$\alpha_u = \frac{1}{ch\gamma l},$$

unde :

$\gamma = \alpha + j\beta$ reprezintă constanta de propagare a liniei considerate cu pierderi.

Dezvoltînd se obține :

$$|\alpha_u| = \frac{1}{\text{sh}\,\alpha l}.$$

Acest coeficient de amplificare se aplică tensiunii de armonică :

$$n = \frac{(2k+1)\pi}{2}.$$

Se observă că la situația cu linia în gol, în regim staționar, tensiunea armonică n la intrare are o valoare foarte mică deoarece impedanța de intrare a acestei linii este foarte apropiată de zero. Linia în gol reprezintă un filtru trece-bandă pentru armonică $(2k + 1)\,\pi/2$, făcînd ca tensiunea de armonică respectivă să scadă foarte mult.

Deci, coeficientul de amplificare α_u se aplică la o valoare de intrare foarte mică a tensiunii, care poate să nu fie încă periculoasă. În schimb, în cazul în care se fac comutații în sistem, poate apărea o tensiune armonică de ordinul n, impusă, de valoare importantă, care fiind amplificată de linie în gol poate atinge valori periculoase pentru izolație.

B. Comportarea liniei lungi în scurtcircuit la frecvențe armonice

a. Caracteristica de frecvență

Impedanța de intrare a liniei lungi în scurtcircuit, considerînd linia fără pierderi, este :

$$Z_{iscc} = j\,Z_c\,\text{tg}\beta l = j\,Z_c\,\text{tg}\,\frac{2\pi l}{\lambda}.$$

S-a notat : $Z^*_{i\,scc} = \frac{Z_{i\,scc}}{Z_c}$.

Din figura 2 rezultă că impedanța de intrare a liniei lungi în scurtcircuit, variază în funcție de l/λ. Această curbă reprezintă pentru o linie de lungime l, în scurtcircuit, variația impedanței de intrare în funcție de frecvență.

La o linie în sfert de undă $(\lambda/4)$, în scurtcircuit, impedanța de intrare $Z_{iscc} = \infty$, ceea ce reprezintă o rezonanță de tensiune. Acest regim constituie armonica $n = \lambda/4\pi l$, un pericol de supratensiune $(V_n = I_n \cdot Z_{i\,scc})$.

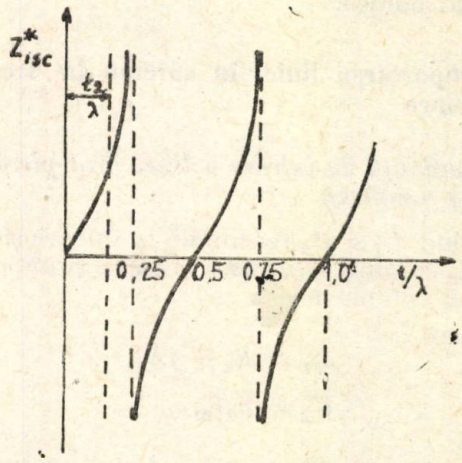


Fig. 2. Variația impedanței relative de intrare a liniei lungi în scurtcircuit.

b. Coeficientul de amplificare al linei în scurtcircuit

Dacă la intrarea într-o linie lungă în scurtcircuit se aplică o sursă de curent armonic I_n, în anumite condiții linia amplifică acest curent, iar la ieșire se va găsi o valoare $I_2 = \alpha_i I_1$.

Coeficientul de amplificare α_i al liniei în scurtcircuit rezultă din ecuațiile liniei lungi fără pierderi :

$$\alpha_i = \left|\frac{I_2}{I_1}\right|_{scc} = \frac{1}{\sin n\beta l}.$$

Curentul armonic I_2 poate lua valori foarte mari pentru armonicile care determină ca unghiul de defazaj al liniei, $n\beta l$, să ia valori apropiate de $k\pi$. Pentru a determina valorile coeficientului de amplificare al liniei în scurtcircuit cînd $\sin\beta ln = 0$, se ține seama de constanta de atenuare a liniei :

$$\alpha_i = \frac{1}{\text{sh}\gamma l},$$

care la $n\beta l = k\pi$ ia valoarea :

$$|\alpha_i| = \frac{1}{\text{sh}\,\alpha l}.$$

În cazul unui scurtcircuit la care se produc creșteri ale tensiunilor armonice, se pot produce conturnări de izolație (defecte succesive) în alte puncte ale sistemului.

Creşterile tensiunilor armonice provin dintr-un curent foarte mic care circulă printr-o impedanţă foarte mare, provocînd astfel o cădere de tensiune însemnată, care poate determina la intrarea liniei o creştere substanţială a tensiunilor armonice.

C. Comportarea liniei în sarcină la frecvenţe superioare

a. Impedanţa de intrare a linei fără pierderi cu sarcină complexă

Notînd U_1 şi U_2 tensiunile la intrare şi ieşire, I_1 şi I_2 curenţii la intrare şi ieşire şi impedanţa sarcinii complexe :

$$Z_2 = R_2 + jX_2,$$
$$U_2 = Z_2 I_2,$$

iar impedanţa de intrare a liniei cu sarcină :

$$[Z_i] = \frac{R_2^* \cos\beta l + j(X_2^* \cos\beta l + \sin\beta l)}{\cos\beta l - X_2^* \sin\beta l + jR_2^* \sin\beta l}.$$

În cele de mai sus impedanţele sînt exprimate prin valoarea relativă, raportată la impedanţa caracteristică Z_c a liniei şi notate prin valorile stelate.

La frecvenţele armoncilor superioare $n \times$ $\times$ 50 Hz), impedanţa liniei în sarcină are expresia :

$$\mathrm{Re}[Z_i] = \frac{R_2^*}{\cos^2 n\beta l} \cdot$$

$$\cdot \frac{1}{1 - 2nR_2^* X_2^* \mathrm{tg} n\beta l + (R_2^{*2} + n^2\beta^2 X_2^2)\mathrm{tg}^2 n\beta l}$$

$$Im[Z_i] =$$

$$= \frac{(1 - R_2^{*2} - n^2 X_2^{*2})\mathrm{tg} n\beta l + n^2 X_2^{*2}(1 - \mathrm{tg}^2 n\beta l)}{1 - 2nR_2^* X_2^* \mathrm{tg}\, n\beta l + (R_2^{*2} + n^2 X_2^{*2})\mathrm{tg}^2 n\beta l)}$$

b. Linie cu sarcină activă (compensată 100%)

$$(X_2^* = 0)$$

Impedanţa de intrare a liniei în cazul $X_2^* = 0$ este :

$$Z_i^* = \frac{R_2^*(1 + \mathrm{tg}^2 n\beta l)}{1 + R_2^* \mathrm{tg}^2 n\beta l} + j\frac{(1 - R_2^{*2})\mathrm{tg}\, n\beta l}{1 + R_2^{*2}\mathrm{tg}^2 n\, \beta l}.$$

În figura 3 sînt date în reprezentare polară valorile impedanţei Z_2^* funcţie de variaţia unghiului $n\beta l$ între 0° şi 180° pentru patru situaţii ale sarcinii active :

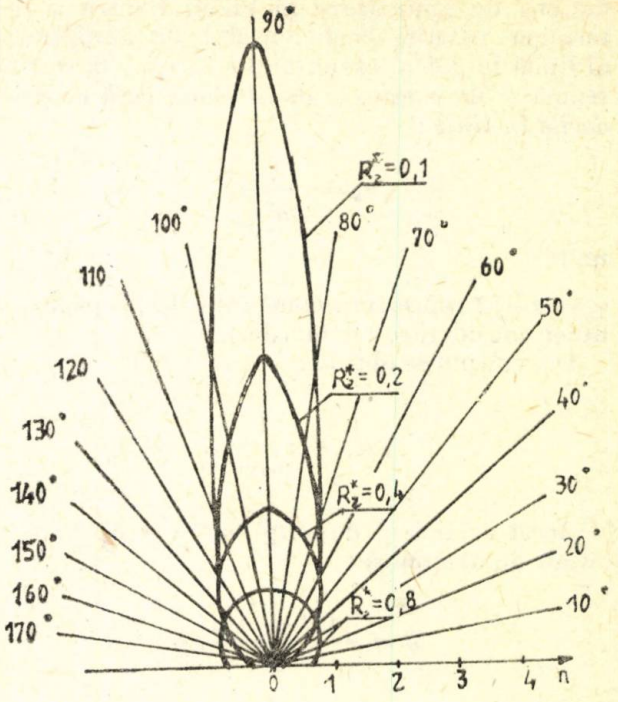


Fig. 3. Impedanţa de intrare a liniei fără pierderi cu sarcină activă ($X_2^* = 0$); $Z_i^* = f(n\beta l)$.

$$R_2 = 0,1\, Z_c$$
$$R_2 = 0,2\, Z_c$$
$$R_2 = 0,4\, Z_c$$
$$R_2 = 0,8\, Z_c$$

Se observă că impedanţa de intrare are valoarea minimă $Z_i^* = R_2^*$ la unghiuri $n\beta l = R^*\pi$, deci la linii cu lungimea $l = \lambda/2\ n = \lambda_n/2$.

Valoarea maximă a impedanţei se produce la unghiuri $n\beta l = (2k + 1)\pi/2$ cînd $Z_i^* = 1/R_2^*$.

Linia în sarcină activă nu are niciodată impedanţa nulă deoarece partea reală a expresiei Z_i^* nu admite soluţii. La valori mici ale sarcinii R_2 impedanţa liniilor în sfert de undă ($\lambda/4$) ia valori foarte mari, tinzînd teoretic către infinit ; la $R_2 = 0$ (linia în scurtcircuit).

Unde s-a notat cu un parametru m valoarea relativă a sarcinii active raportată la impedanţa caracteristicii :

$$m = R_2^* = \frac{R_2}{Z_c}$$

cînd : $R_2 < Z_c$.

c. Linia cu sarcină reactivă ($R_2^* = 0$)

Impedanţa de intrare a liniei în sarcină, pentru o armonică superioară de ordin n :

$$Z_i^* = j\frac{n X_2^* \cos n\beta l + \sin n\beta l}{\cos n\beta l - nX_2^* \sin n\beta l}.$$

De la această expresie, notînd prin $\mathrm{tg}A = nX_2^*$ sau $A = \mathrm{arc\ tg}\ nX_2^*$ se poate ajunge la forma :

$$Z_i^* = j\,\frac{\mathrm{tg}n\beta l + nX_2^*}{1 - nX_2^*\mathrm{tg}\,n\beta l} = j\,\mathrm{tg}\,(n\beta l + A).$$

Observăm că această ultimă relație exprimă impedanța de intrare a unei linii în scurtcircuit avînd o lungime mai mare ca l și anume :

$$l' = l + \frac{A}{n\beta}.$$

Prin urmare o sarcină reactivă nX_2^* este echivalentă cu o linie de lungime : $l_2 = \dfrac{A}{n\beta}$ scurtcircuitată la capăt și avînd aceeași impedanță caracteristică Z_c.

$$nX_2^* = \mathrm{tg}n\beta l_2 = \mathrm{tg}\,\frac{2\pi n l_2}{\lambda}$$

sau

$$\frac{l_2}{\lambda_n} = \frac{1}{2\pi}\,\mathrm{arc\ tg}\,n\,X_2^*.$$

O linie cu sarcină reactivă jnX_2^* se comportă deci ca o linie avînd o lungime mai mare cu l_2 decît cea reală și funcționînd în regim de scurtcircuit.

Cînd $nX_2 > 0$ (inductivă) lungimea suplimentară $l_2 < \lambda/4$, iar cînd $X_2 < 0$ (capacitivă) atunci $-\lambda/4 < l_2 < \lambda/4$.

Valoarea impedanței de intrare a liniei în sarcină reactivă :

$$Z_i^* = j\,\mathrm{tg}\,\frac{2\pi}{\lambda_n}(l + l_2)$$

se poate găsi grafic, în care se deplasează axa ordonatelor cu o lungime l_2/λ spre valorile pozitive ale lui Z_i^*.

Rezultă că valorile periculoase ale impedanței de intrare la linia în sarcină au loc în punctele următoare :

$$\frac{l}{\lambda_n} = 0{,}25 - \frac{l_2}{\lambda_n};\ Z_i^* = \infty$$

$$\frac{l}{\lambda_n} = 0{,}5 - \frac{l_2}{\lambda_n};\ Z_i^* = 0,$$

$$\frac{l}{\lambda_n} = 0{,}75 - \frac{l_2}{\lambda_n};\ Z_i^* = \infty,$$

$$\frac{l}{\lambda_n} = 1 - \frac{l_2}{\lambda_n};\ Z_i^* = 0.$$

d. Coeficientul de amplificare a liniilor în sarcină

Considerînd că se aplică la intrarea în linie o sursă de tensiune armonică U_n sau o sursă de curent armonic I_n, se determină coeficientul :

$$\alpha_u = \frac{U_2}{U_1}$$

și

$$\alpha_i = \frac{I_2}{I_1}.$$

Dacă impedanța sarcinii Z_2 la ieșire se consideră reactivă și se determină ca rectanța de scurtcircuit a sistemului energetic redusă la punctul 2 al liniei, se obține coeficientul de amplificare al tensiunii armonice de ordin n :

$$\alpha_u = \frac{U_2}{U_1} = \frac{\sin A}{\sin\,(n\beta l + A).}$$

și coeficientul de amplificare al curentului :

$$\alpha_i = \frac{I_2}{I_1} = \frac{\cos A}{\cos\,(n\beta l + A)}\ \text{unde}\ a = \mathrm{arctg}\ nX_2^*$$

Concluzii

Datorită circuitelor oscilante formate din inductanțele și capacitățile elementelor din rețele, în diverse condiții pot apărea fenomene de amplificare a curentului sau tensiunii la o anumită armonică, care, la capătul liniilor lungi, pot fi cauza unor deformări importante.

Supratensiunile care apar la rezonanță pot deveni periculoase pentru izolația rețelelor, deoarece pot atinge valori destul de mari și nu au o acțiune de durată.

În urma rezultatelor obținute prin măsurare în diferite sisteme a rezultat că frecvența proprie de oscilație a sistemelor are valori între 0,5 și 3 kHz, iar spectrul de frecvențe al curenților armonici măsurat în rețele este între 0,15 și 1,25 kHz (armonica 3...25), fiind deci posibilă apariția fenomenului de rezonanță în rețelele de 220 kV și 400 kV.

Așa cum s-a arătat la pct. A liniile lungi în gol, în anumite condiții, constituie un amplificator al tensiunii aplicate la intrare.

În cazul în care se fac comutații în sistem, poate apărea o tensiune armonică de valoare importantă, care, fiind amplificată de linia în gol, poate atinge valori periculoase.

În capitolul B a fost detaliată comportarea liniilor lungi în scurtcircuit, caz în care se produc creșteri ale tensiunilor armonice, putînd produce conturnări de izolație (defecte succesive) în alte puncte ale sistemului. Aceste

creşteri ale tensiunilor armonice provin dintr-un curent foarte mic care circulă printr-o impedanţă foarte mare, provocînd astfel o cădere de tensiuni însemnată şi care poate determina la intrarea liniei o creştere substanţială a tensiunilor armonice.

De asemenea, pentru cunoaşterea frecvenţei proprii de oscilaţii a reţelei în fiecare punct din sistem şi pentru a scoate în evidenţă configuraţiile care comportă pericol de supratensiuni de armonici este posibil ca în viitor să se elaboreze o reprezentare a sistemului prin impedanţele armonice pentru fiecare armonică cunoscînd variaţia impedanţei de intrare a liniilor lungi pentru o anumită frecvenţă armonică, în funcţie de lungime şi sarcină.

Alegerea aparatajului de comutaţie pentru staţiile de 220 kV şi 400 kV se va putea face corect numai în cazul în care va fi cunoscută frecvenţa proprie de oscilaţie a sistemului pe barele staţiilor respective.

(Primit la 20 decembrie 1988, acceptat la 24 februarie 1989)

Unele aspecte privind măsurarea şi analiza vibraţiilor conductoarelor LEA

Dr. mat. TEODOR SIRETEANU, ing. EMIL VIDEA, ing. PETRE TIŢA, ing. DANIELA CONSTANTINOVICI, dr. ing. LAURENŢIU GOIA, ing. ALEXANDRU ALBRECHT *

Descriptori: LEA, galopare conductoare, vibraţii

Articolul prezintă cîteva aspecte moderne privind fenomenul vibraţiilor eoliene — datorate vîntului — ale conductoarelor LEA. Acestea sînt provocate de turbioanele Karman, formate în spatele conductorului datorită scurgerii pe lîngă acesta a curenţilor de aer.

Turbioanele au ca efect apariţia unor forţe ascensionale alternative asupra conductorului a căror frecvenţă este determinată de viteza vîntului şi diametrul conductorului.

În articol se descriu metodele de măsurare şi înregistrare a vibraţiilor conductoarelor, precum şi cele mai interesante rezultate obţinute de autori la măsurările in situ ale acestora. Se indică metodologia cea mai sugestivă de prezentare sintetică a rezultatelor măsurătorilor executate şi de prelucrare a datelor obţinute în scopul utilizării pentru diferite aplicaţii. Dat fiind caracterul fenomenului, pentru caracterizarea lui s-a folosit metoda analizei spectrale, adecvată interpretării proceselor aleatoare.

Măsurările s-au executat pe o linie reală şi într-un stand situat într-o zonă cu frecvenţă mare a vîntului cu caracter laminar şi a acoperit o gamă largă de viteze de vînt, mai multe diametre de conductor, cîteva configuraţii ale fazei LEA şi cîteva tracţiuni în conductoarele analizate.

În încheiere se prezintă metodele de reducere a amplitudinii vibraţiilor folosind „absorbitoarele de energie' — amortizoarele de vibraţii — efectele cantitative ale utilizării acestora, precum şi unele efecte concrete ale vibraţiilor conductoarelor LEA, soldate cu ruperea prin oboseală a firelor din straturile exterioare ale conductoarelor din standul experimental.

The paper presents some aspects of an up-to-date approach of wind induced vibrations on overhead lines conductors.

These vibrations are caused by Karman vorticities developing behind a conductor, due to an air current moving beside it.

Vorticities cause the appearance of alternative lifts on the conductor, their frequency being determined by the wind speed and the conductor diameter.

Measurement and registration methods of conductors vibrations as well as the most interesting results obtained within in situ measurements are presented. The most suggestive presentation methods of measurements and data processing results obtained are indicated in order to be used for different applications. Given the phenomenon's character, its analysis was carried out by the spectral analysis method, suitable for the interpretation of aleatory processes.

The measurements were carried out on a real line on a tests stand exposed to strong wind of laminar character and have covered a large wind speed range, several conductor diameters, some configurations of the overhead line phase configurations and some pulling stresses on the analysed inductor.

Finally, the methods to decrease the vibrations amplitude using "energy absorbers" — vibration dampers — the quantitative effects of their use are presented as well as some practical effects of overhead lines conductors vibrations resulting in the stress failure of the external layer wires of the test stand conductors.

Introducere

Vibraţiile conductoarelor LEA generate de vînt pot conduce în anumite condiţii la deteriorarea prin solicitări la oboseală a conductoarelor de transport şi distribuţie a energiei electrice.

Factorii care influenţează intensitatea vibraţiilor şi implicit durata de viaţă a liniei sînt în general cunoscuţi, deşi nu pot fi determinaţi cu suficientă exactitate în toate cazurile.

Obţinerea unor date necesare în vederea optimizării construcţiei LEA este posibilă numai prin coroborarea rezultatelor măsurătorilor efectuate pe teren şi în laborator cu datele obţinute prin calcul, astfel încît să se realizeze construcţii economice şi, totodată, fiabile în exploatare.

* Dr. mat. Teodor Sireteanu, ing. Emil Videa — Institutul de Fizică şi Tehnologia Materialelor, ing. Petre Tiţa, Daniela Constantinovici — Intreprinderea de Construcţii Metalice şi Prefabricate, dr. ing. Laurenţiu Goia, ing. Alexandru Albrecht — Institutul de Cercetări şi Modernizări Energetice, Bucureşti.

În acest scop apare deosebit de necesară dezvoltarea unor metode de măsură aplicabile în analiza vibraţiilor conductoarelor LEA, în condiţii cît mai apropiate de realitate (pe panouri experimentale sau chiar pe liniile aflate în exploatare).

Prin prelucrarea adecvată a datelor rezultate din utilizarea acestor metode se pot obţine informaţii privind solicitările la oboseală, eficienţa unor soluţii adoptate în scopul reducerii acestora, precum şi influenţa pe care diferiţi factori (cum ar fi viteza vîntului, tracţiunea în conductor, configuraţia liniei, terenul, temperatura etc.) o au asupra nivelului şi conţinutului de frecvenţă ale vibraţiilor conductoarelor LEA.

1. Metode de măsurare a vibraţiilor

Pe lîngă metodele de măsură utilizate în general pentru analiza vibraţiilor au fost dezvoltate şi unele metode specifice domeniului. Dintre acestea menţionăm metoda de măsurare fără contract, bazată pe un sistem opto-electronic [1] şi o metodă de înregistrare grafică pe un disc suspendat de conductor [2].

Prima metodă constă într-un traductor opto-electronic amplasat astfel încît să perceapă vizual conductorul (de la nivelul solului) pe o distanţă de 300 m.

Un teleobiectiv (fig. 1) cuplat la un sistem electronic urmăreşte mişcările unui punct de referinţă situat pe conductor şi dă un semnal proporţional cu deplasarea care poate fi prelucrat prin metode specifice de analiză a vibraţiilor.

Metoda prezintă avantajul că poate fi utilizată pentru măsurarea vibraţiilor pe linii aflate sub tensiune, deci în regim normal de funcţionare, dar aparatura aferentă este mai puţin accesibilă datorită domeniului restrîns de aplicabilitate.

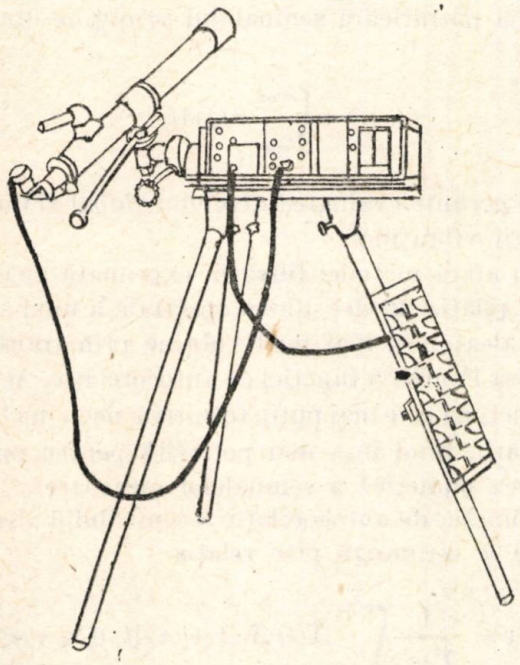


Fig. 1.

A doua metodă constă într-un vibrograf de tip seismic cu înregistrare pe un disc a cărui rotaţie este asigurată de un mecanism de ceas, durata unei înregistrări complete putînd varia între 24 ore şi o săptămînă (fig. 2). Această

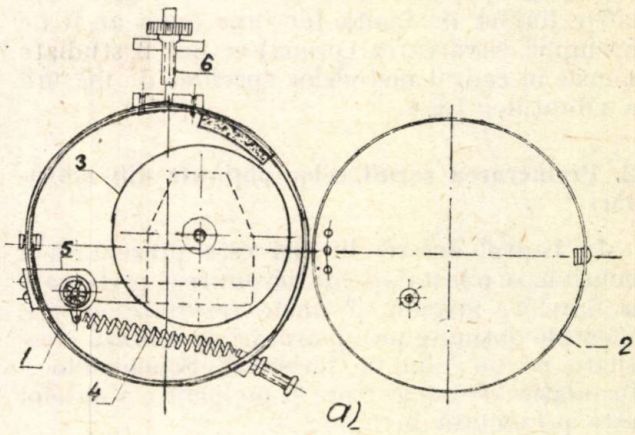


Fig. 2.a. Vibrograf de tip seismic cu înregistrare pe disc: 1 — carcasa mecanismului; 2 — capac; 3 — hîrtie de înregistrare; 4-resort; 5-îmbinarea cu mecanismul ceas; 6-clema de prindere.

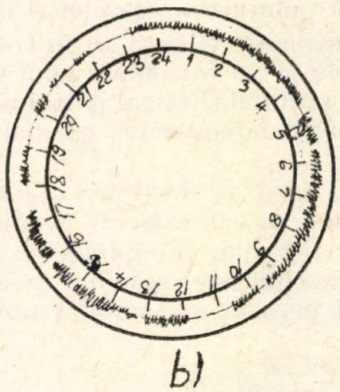


Fig. 2 b' Diagramă de vibraţie obţinută prin a doua metodă.

metodă poate furniza numai informaţii globale privind nivelul amplitudinilor, fiind indicată pentru urmărirea în timp îndelungat a comportării liniilor, evaluarea eficienţei dispozitivelor de amortizare a vibraţiilor sau a corectei amplasări a acestora.

Menţionăm că există şi în ţara noastră preocupări în vederea realizării unor astfel de aparate.

Ţinînd seamă de dotarea existentă în ţară în domeniul măsurării vibraţiilor structurilor mecanice se pot obţine informaţiile necesare pentru studiul comportării la vibraţiile eoliene ale conductoarelor LEA prin realizarea unor traductoare care transformă mărimile meca-

nice (accelerații, viteze, deplasări) în semnale electrice analogice ce pot fi prelucrate în timp real sau înregistrate pe bandă de magnetofon și prelucrate ulterior în laborator.

Această metodă nu poate fi utilizată decît pe linii scoase de sub tensiune sau pe panouri experimentale care reproduc cît mai fidel configurația și caracteristicile mecanice ale deschiderilor reale. Deci metoda nu permite analiza vibrațiilor produse de fenomene electrice specifice liniilor de înaltă tensiune (cum ar fi de exemplu descărcarea corona) ce pot fi studiate numai în cadrul metodelor specifice de măsură a vibrațiilor LEA.

2. Prelucrarea rezultatelor obținute din măsurări

În cadrul acestei lucrări este prezentată în continuare o instalație de măsurare și prelucrare a datelor, precum și unele rezultate experimentale obținute prin măsurări de vibrații efectuate pe un stand de încercări. Schema bloc a instalației de înregistrare și prelucrare a datelor este prezentată în figura 3.

Pentru captarea semnalelor de vibrații au fost montate pe conductor traductoare de accelerație piezoelectrice (TA) cuplate la amplificatoarele de sarcină (AS) cu posibilități de integrare pentru obținerea vitezelor și deplasărilor.

Înregistrările de vibrații au fost efectuate pe trei din cele patru canale ale unui magnetofon de măsură portabil (FM), al patrulea canal fiind utilizat pentru înregistrarea citirilor de la anemometru.

În acest mod au fost investigate simultan trei puncte de măsură situate pe conductoarele fazei 3 × 450 mm, tracțiunea T = 400 daN aflată în deschiderea panoului, avînd totodată un control permanent asupra vitezei vîntului.

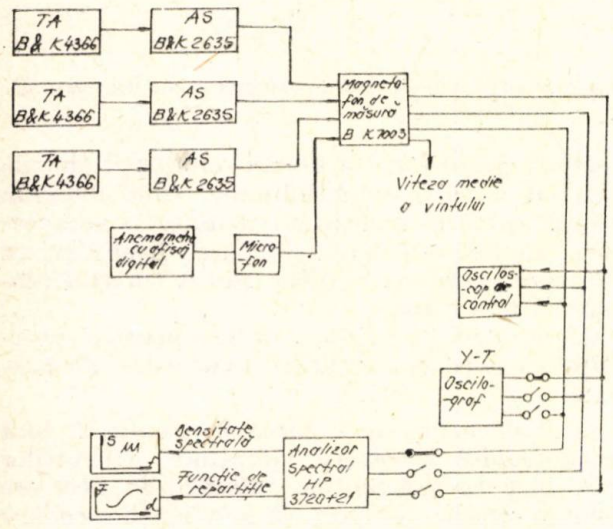


Fig. 3. Schema bloc a instalației de înregistrare și prelucrare a datelor.

În figura 4 sînt prezentate două eșantioane din înregistrările efectuate pe două conductoare ale unei faze 3 × 450 mm² (fără distanțieri montați) cu și fără antivibrator. Diagramele sînt ridicate în cazul tracțiunii T = 400 daN, avînd specificate scala timpului și a amplitudinilor, precum și viteza medie a vîntului m_v, calculată pe baza citirilor făcute.

Din figura 4 rezultă că natura semnalelor înregistrate este aleatoare, pentru analiza lor fiind necesară aplicarea metodelor specifice teoriei proceselor aleatoare [3], [4], [5].

Una din caracteristicile cele mai importante ale unui semnal aleator staționar este densitatea spectrală care furnizează informații privind intensitatea componentelor semnalului în diferite benzi de frecvență.

În cazul semnalului aleator $x(t)$ intensitatea se măsoară în general prin media pătratică sau valoarea eficace (valoarea *rms*):

$$rms = \sqrt{\sigma^2} = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T x^2(t)\,dt}. \qquad (1)$$

Notînd cu $\sigma^2(f_0, \Delta f)$ media pătratică a semnalului de vibrații filtrat printr-un filtru trece bandă de lățime Δf, centrat la frecvența, f_0 valoarea densității spectrale corespunzătoare acestei frecvențe se estimează prin relația :

$$S(f_0) = \frac{\sigma^2(f_0;\ \Delta f)}{\Delta f}. \qquad (2)$$

Cunoscînd $S(f)$ pe întreaga bandă de frecvențe, media pătratică a semnalului se obține din relația :

$$\sigma^2 = \int_{f_{min}}^{f_{max}} S(f)\,df, \qquad (3)$$

care permite evaluarea nivelului global al intensității vibrațiilor.

În afara metodei filtrării, exprimată analitic prin relația (2) densitatea spectrală a unui semnal aleator se mai poate obține prin transformarea Fourier a funcției de autocorelație. Această metodă este mai puțin intuitivă decît metoda filtrării, fiind însă mai potrivită pentru prelucrarea numerică a semnalelor aleatoare.

Funcția de autocorelație a semnalului aleator $X(t)$ se estimează prin relația

$$R(\tau) = \frac{1}{T-\tau}\int_0^{T-\tau} X(t)\,X(t+\tau)\,dt,\ 0 \leqslant \tau < T. \qquad (4)$$

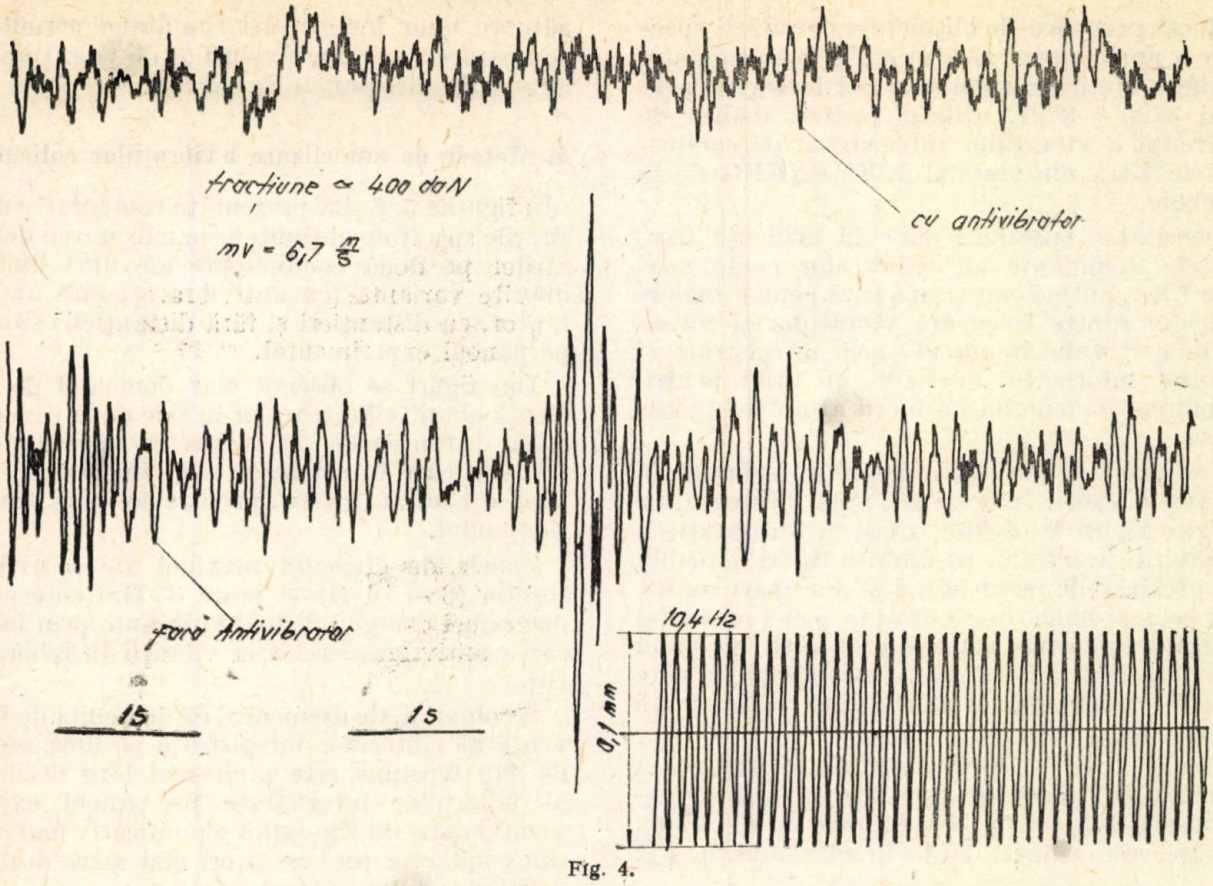


Fig. 4.

Se observă că media pătratică a lui $X(t)$ este dată de valoarea funcţiei de autocorelaţie pentru $\tau = 0$;

$$R(0) = \frac{1}{T}\int_0^T X(t)\,X(t)\,\mathrm{d}t = \sigma^2. \qquad (5)$$

Cunoscînd funcţia de autocorelaţie, densitatea spectrală a semnalului aleator $X(t)$ se estimează prin transformata Fourier finită :

$$S(f) = 2\int_{-T}^{T} R(\tau)\,e^{-i2\pi f\tau}\,\mathrm{d}\tau, \qquad (6)$$

în care se consideră $R(-\tau) = R(\tau)$, $\tau \geqslant 0$.

Relaţia (6) mai poate fi scrisă sub forma :

$$S(f) = 4\int_0^T R(\tau)\cos 2\pi f\,\tau\,\mathrm{d}\tau. \qquad (7)$$

Prin inversarea relaţiei (7) se obţine :

$$R(\tau) = \int_0^{f_{max}} S(f)\cos 2\pi f\,\tau\mathrm{d}f. \qquad (8)$$

Punînd în (8) $\tau = 0$ şi ţinînd seama de (5) se obţine din nou relaţia (3).

Pentru calculul numeric al densităţii spectrale pe baza relaţiilor (4) şi (7) semnalul aleator $X(t)$ este discretizat cu un pas de eşantionare Δt, obţinîndu-se un şir de valori $X_1, X_2, \ldots X_N$, unde

$$X_i = X(i\Delta t), \quad i = 1,2, \ldots N. \qquad (9)$$

Funcţia de autocorelaţie se calculează conform relaţiei :

$$R_k = R[(k-1)\,\Delta t] = \frac{1}{N-k+1}\cdot \sum_{r=1}^{N-k+1} X_r\,X_{r+k-1}, \qquad (10)$$

$$k = 1, 2, \ldots, m < N,$$

iar densitatea spectrală se determină din relaţia :

$$S_k = S(k\,\Delta f) = 2\Delta t\left\{R_1 + 2\cdot \sum_{r=2}^{m-1} R_r \cos\frac{\pi r k}{m} + (-1)^k\,R_m\right\}, \qquad (11)$$

$$\Delta f = \frac{1}{2m\Delta t}, \quad k = 1,2, \ldots m.$$

Acest procedeu de obținere a densității spectrale a unui semnal aleator stă la baza modului de lucru al analizorului spectral Hewlett-Packkard 3720 + 3721, utilizat pentru analiza de frecvență a vibrațiilor înregistrate pe conductoarele LEA din standul ICEMENERG de la Semenic.

Densitatea spectrală pune în evidență frecvențele dominante ale vibrațiilor conductoarelor LEA, putînd constitui o bază pentru analiza relațiilor dintre frecvența vibrațiilor și viteza medie a vîntului în cursul unei înregistrări și furniza informații deosebit de utile pentru stabilirea domeniului de lucru al antivibratoarelor.

Compararea densității spectrale obținută în diferite variante (cu și fără antivibratoare, cu diferite tipuri de distanțieri și fără distanțieri, cu diferite tracțiuni, pe diferite tipuri de cablu etc.) realizabile pe un stand de încercări constituie cel mai bun criteriu de apreciere a eficienței soluțiilor adoptate pentru reducerea nivelului de vibrații sau de analiză a modului în care anumiți parametri ai deschiderii influențează acest nivel.

O altă caracteristică statistică importantă a semnalului aleator $x(t)$ este funcția sa de repartiție, definită prin probabilitatea ca $x(t)$ să nu depășească o valoare dată x în intervalul $[0, T]$:

$$F(x) = \text{Probab}\,\{x(t) \leqslant x, t \in [0, T]\}. \quad (12)$$

Cunoscînd această funcție se pot determina și următoarele probabilități:

$$\text{Probab}\{x(t) \geqslant x, t \in [0, T]\} = 1 - F(x),$$

$$\text{Probab}\{x_1 \leqslant x(t) \leqslant x_2, t \in [0, T]\} = F(x_2) - F(x_1) \quad (13)$$

Probabilitățile (12), (13) prezintă importanță practică pentru calculul rezistenței la oboseală a conductoarelor LEA, precum și la stabilirea unor regimuri echivalente pentru încercări de oboseală accelerate pe standuri specializate. În acest sens și densitatea spectrală poate furniza informații deosebit de utile.

Atît densitățile spectrale, cît și funcțiile de repartiție pot fi obținute utilizînd analizorul spectral HP din schema bloc prezentată în figura 3.

În sfîrșit, informații utile atît din punct de vedere calitativ, cît și cantitativ se pot obține prin redarea grafică a variației în timp a deplasărilor înregistrate în punctele de măsură.

Pe aceste vibrograme pot fi depistate intensificări ale nivelului de vibrații și în unele cazuri pot fi determinate chiar și frecvențele dominante. De asemenea, redarea vibrogramelor corespunzătoare unor înregistrări simultane permite o comparare rapidă a nivelurilor de vibrații obținute în diferite puncte de măsură.

4. Metode de amortizare a vibrațiilor eoliene

În figurile 5, 6 sînt prezentate comparativ densitățile spectrale obținute prin măsurarea deplasărilor pe două conductoare ale unei linii în diferite variante (cu antivibrator, fără antivibrator, cu distanțieri și fără distanțieri) situate pe panoul experimental.

Din figuri se observă clar domeniul de eficiență al antivibratoarelor în cele două cazuri și rolul distanțierilor în reducerea nivelului de vibrații, care în condițiile experimentului efectuat a rezultat foarte apropiat de cel al antivibratorului.

Zonele de eficiență maximă ale antivibratorului (8 — 16 Hz și peste 35 Hz) corespund diagramei energiei disipate obținute prin încercarea antivibratoarelor la vibrații în laborator [6].

Se observă, de asemenea, că domeniul de frecvență al vibrațiilor înregistrate pe linia scoasă de sub tensiune este mult mai larg decît cel al vibrațiilor înregistrate pe panoul experimental datorită tracțiunii semnificativ mai mari din conductor (de $\approx$ 5 ori mai mare decît în cazul standului prezentat).

Totuși, chiar în cazul utilizării distanțierilor introducerea antivibratoarelor contribuie la diminuarea nivelului de vibrații, așa cum se poate observa din figura 7.

Comparînd spectrele deplasărilor înregistrate în cazul a două configurații geometrice diferite ale aceleiași faze (distanțier triunghi, distanțier stea) pe două deschideri adiacente se observă că nu apar diferențe semnificative (fig. 8).

Din densitățile spectrale obținute rezultă că există anumite frecvențe preferate de vibrație ale conductoarelor LEA ce depind de parametrii constructivi ai deschiderilor, aceste frecvențe fiind excitate în permanență de fluctuațiile presiunii dinamice exercitate de vînt asupra elementelor deschiderii (stîlpi, izolatoare, cleme de susținere, conductoare, distanțieri etc.). Aceste vibrații se propagă sub forma unor trenuri de undă în lungul conductorului și se manifestă într-un punct de măsură prin intensificări și diminuări ale amplitudinii avînd deseori aspectul unor bătăi. În perioada de amplificare a vibrațiilor se manifestă numai frecvența dominantă în timp ce în perioada în care nivelul de vibrații este mai redus apar și alte frecvențe.

Aceste condiții sînt justificate și de forma vibrogramelor din figura 4.

Fenomenul este tipic pentru comportarea unui sistem oscilant cu o frecvență proprie dominantă supus la o excitație aleatoare de bandă largă,

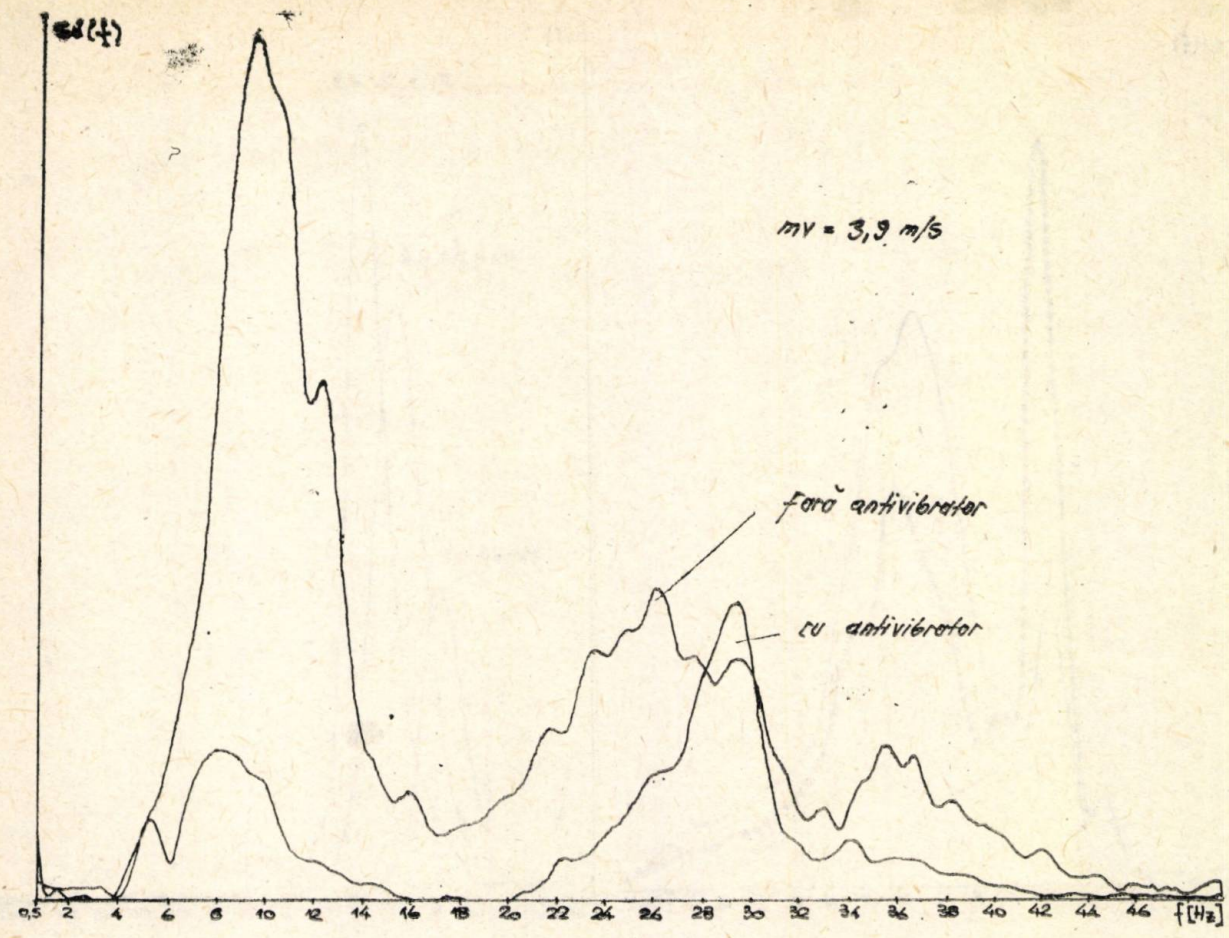


Fig. 5.

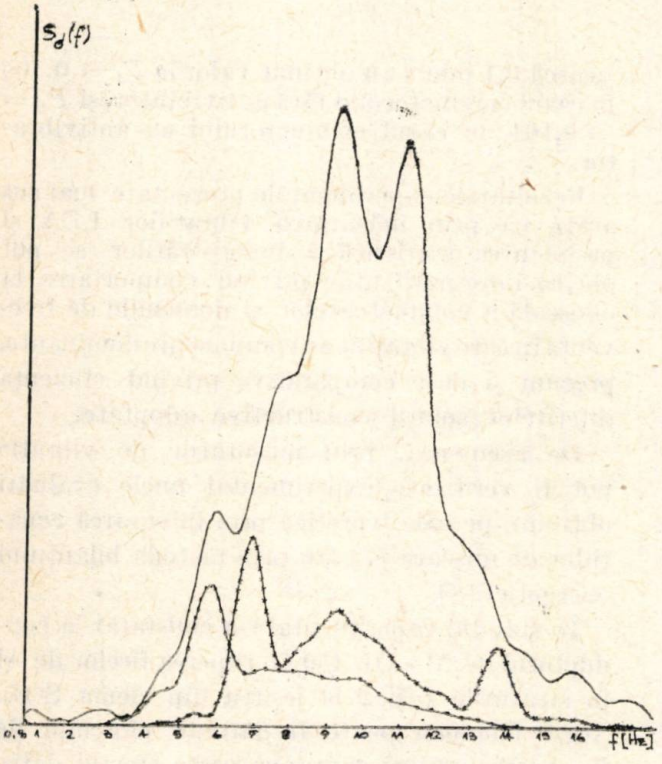


Fig. 6. ———— fără vibrator, distanţier; — · — · — · — cu antivibrator; — × — × — × — × — cu distanţier.

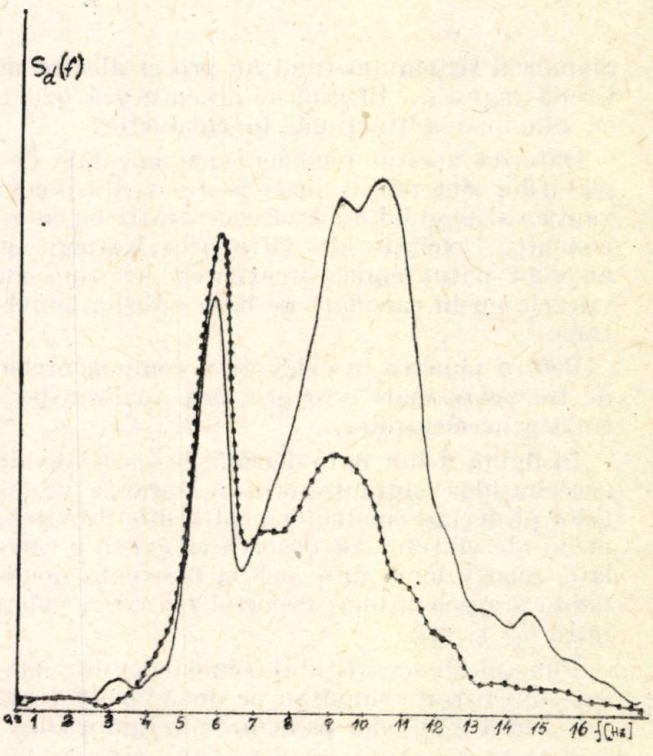


Fig. 7. Utilizarea distanţierului: ———— fără antivibrator; — · — · — · — cu antibibrator.

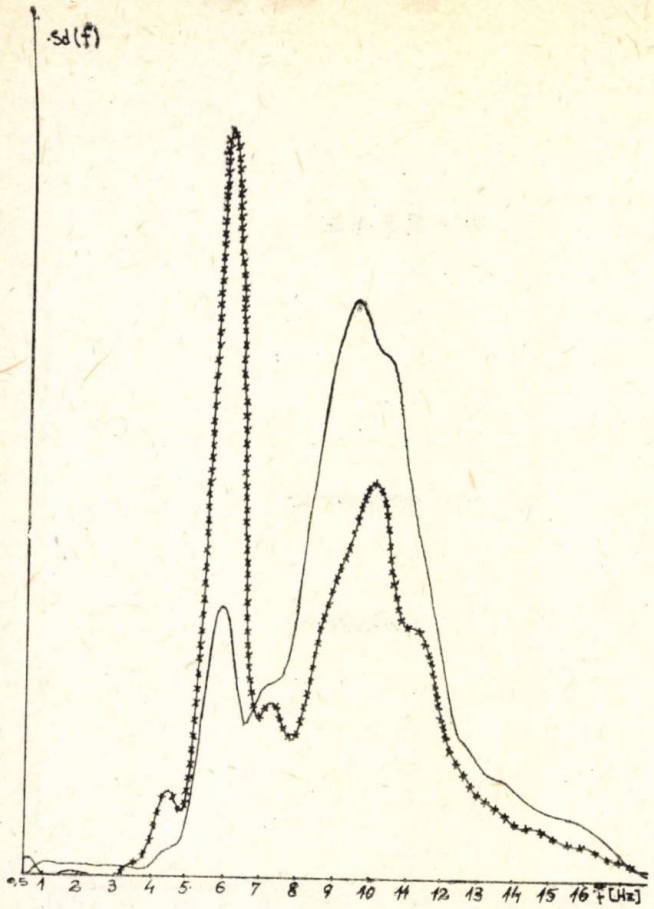


Fig. 8. ———— cu distanţier stea ; ×—×—×—×— cu distanţier triunghi.

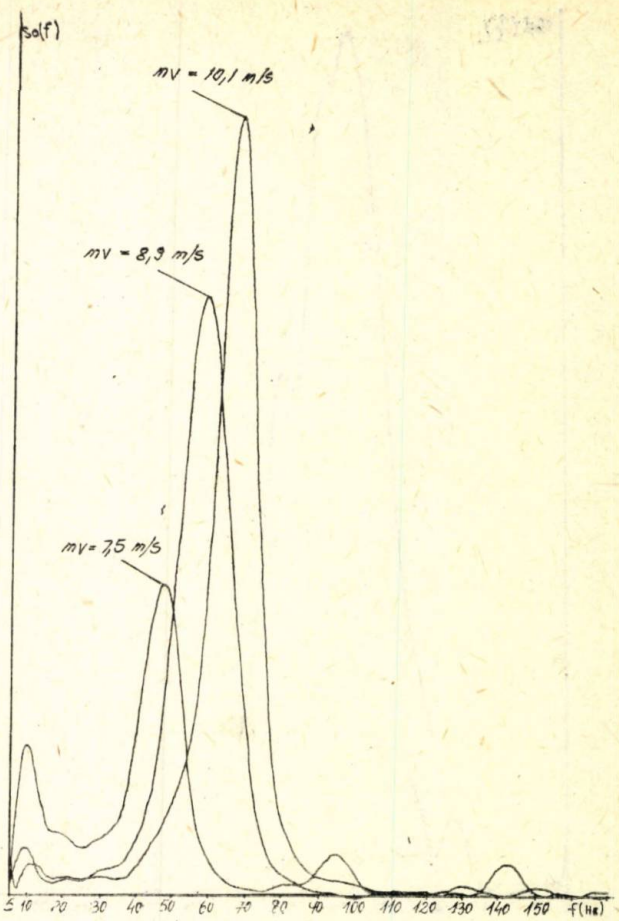


Fig. 9.

răspunsul sistemului fiind un proces aleator de bandă îngustă. Efectul se accentuează odată cu diminuarea tracţiunii în conductor.

Datorită acestui fenomen componentele deplasărilor sînt relativ mari pe frecvenţa dominantă a sistemului oscilant comparativ cu componentele excitate de vîrtejurile Karman şi nu s-au putut corela frecvenţele acestora cu vitezele medii calculate pe baza citirilor simultane.

Pentru punerea în evidenţă a componentelor de frecvenţe mari este necesară analiza spectrală a acceleraţiilor.

În figura 9 sînt date densităţile spectrale ale acceleraţiilor obţinute prin măsurarea vibraţiilor pe acelaşi conductor pentru diferite viteze medii ale vîntului. Se observă că există o corelaţie relativ bună între mV şi frecvenţa dominantă a acceleraţiilor, raportul f/v avînd valori între 6,1 şi 6,7.

Funcţiile de repartiţie ale semnalelor de deplasare înregistrate simultan pe două conductoare (cu şi fără AVb) sînt prezentate în figura 10.

Calculînd pe baza relaţiilor (12), (13), probabilitatea ca deplasarea conductorului să depăşească 0,1 mm s-au obţinut valorile $P_1 = 0{,}305$ în cazul conductorului fără antivibrator, şi $P_2 = 0{,}164$, în cazul conductorului cu antivibrator.

Rezultatele experimentale prezentate mai sus arată că prin măsurarea vibraţiilor LEA şi prelucrarea statistică a înregistrărilor se pot obţine informaţii utile privind comportarea la oboseală a conductoarelor şi domeniile de frecvenţă în care vibraţiile au componente dominante, precum şi date comparative privind eficienţa diferitelor soluţii constructive adoptate.

De asemenea, prin măsurările de vibraţie pot fi verificate experimental unele evaluări obţinute pe cale teoretică prin integrarea ecuaţiilor de mişcare [7] sau prin metoda bilanţului energetic [8].

În standul experimental s-a constatat la conductorul de Al—OL 450/75 ruperea firelor de Al în straturile 1 şi 2 la ieşirea din clema SOL. Acest fenomen poate fi datorat efortului de încovoiere statică suprapus peste efortul datorat vibraţiilor conductorului ε (fig. 11, 12).

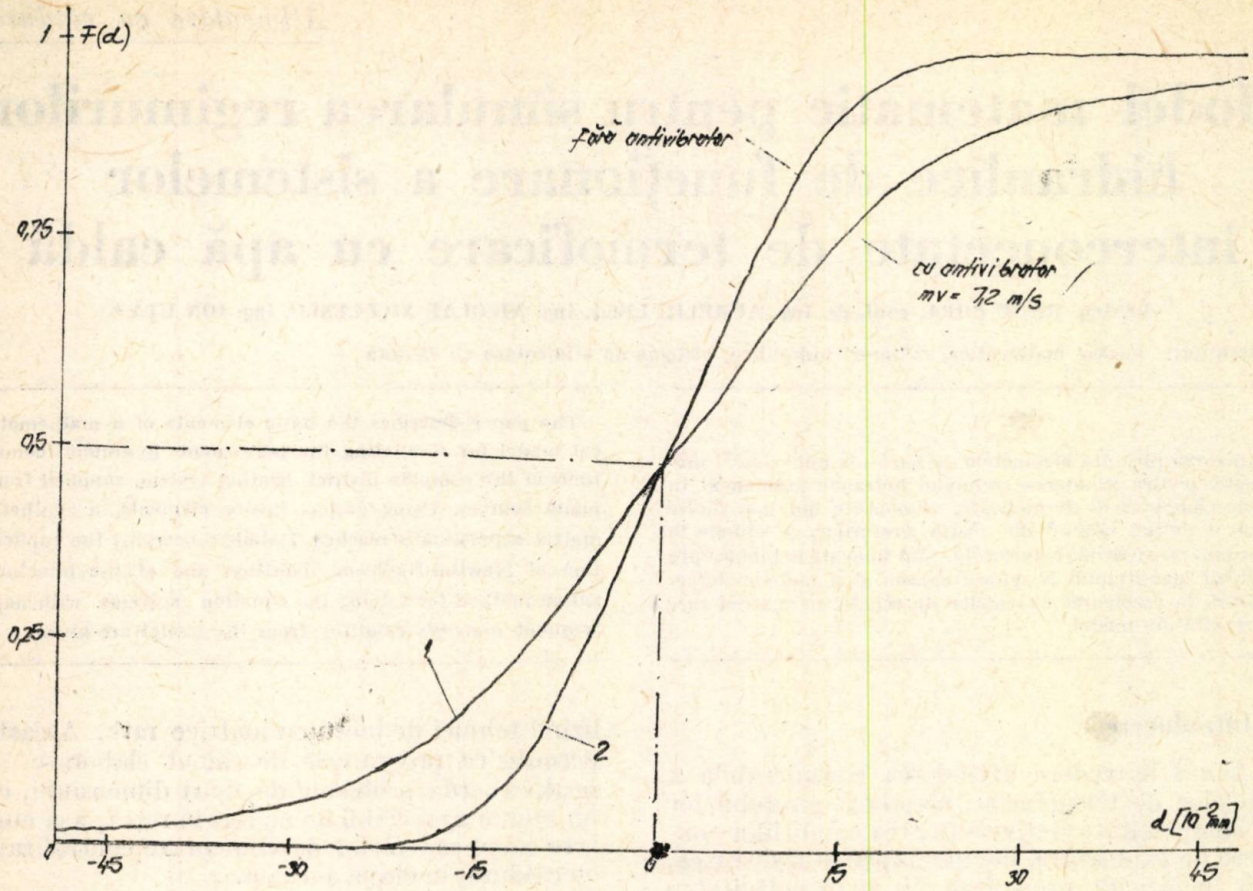


Fig. 10.

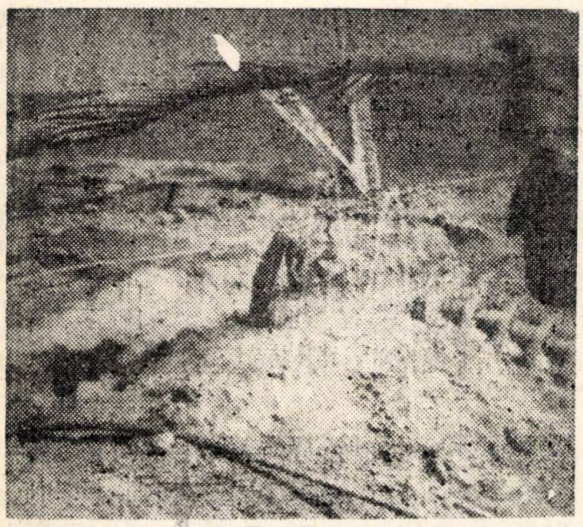


Fig. 11.

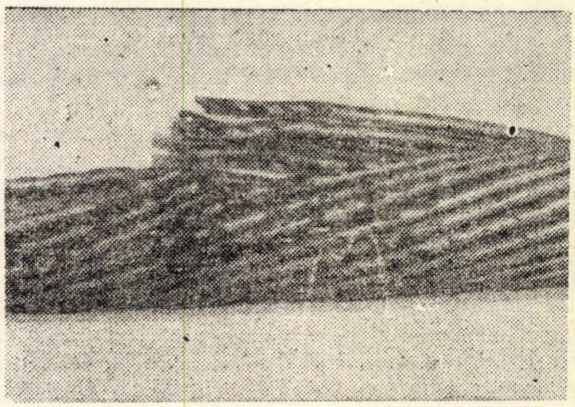


Fig. 12.

Bibliografie

[1] Agelink, G. *Vibration measurement on live overhead lines by means of a non-contat measuring method CIGRE* 112—08. Simpozion 28—81, Stockholm, 1981.

[2] Sawvaitov, D. S. *Messung von Vibrationen in Freileitungen der UdSSR.* In: Energietechnik, 27, Yg Heft 2, 1977.

[3] Bendat, J. S., Piersol, A. G. *Random Data in Analysis and Measurement Procedures.* New-York Willey-Interscience, 1971.

[4] Dincă, F., Teodosiu, C. *Nonlinear and Random Vibrations.* Editura Academiei, 1973.

[5] Sireteanu, T. ş.a. *Vibraţiile aleatoare ale automobilelor.* Editura Tehnică, 1981.

[6] * * * *Stabilirea tehnologiei de încercări la vibraţii a amortizoarelor AV şi măsurări pe AV 1 şi AV 5.* Contract de cercetare IFTM — ICMP 1984.

[7] Claren, R., Diana, G. *Mathematical Analysis of Transmission Line Vibrations.* In: IEEE Transaction on Power Apparatus and Systems, Vol PAS — 88, NO 12, 1969.

[8] * * * *Estimating Eolian Vibration based on the Energy Balance Principle.* CIGRE, SC 22—75 (WG 01) 01, 1975.

[9] Arie, A. A. ş.a. *Reţele electrice-calcul mecanic.* Editura Tehnică, 1983.

(Primit la 3 octombrie 1988, acceptat la 13 februarie 1989)

Model matematic pentru simularea regimurilor hidraulice de funcționare a sistemelor interconectate de termoficare cu apă caldă

Dr. ing. RADU POPA, conf. dr. ing. AURELIU LECA, ing. NICOLAE NICULESCU, ing. ION UȚĂ *

Descriptori: modele matematice, regimuri hidraulice, sisteme de alimentare cu căldură

Lucrarea prezintă elementele de bază ale unui model matematic pentru simularea regimului hidraulic permanent în rețele complexe de termoficare, alimentate din mai multe surse. Folosind noțiuni din teoria grafurilor, se ajunge la o formulare matricială condensată. Sînt indicate detalii asupra aplicării algoritmului Newton-Raphson și a metodei bifactorizării la rezolvarea sistemelor de ecuații cu matrici rare ce rezultă din model.

The paper describes the basic elements of a mathematical model for simulating the permanent hydraulic conditions in the complex district heating system, supplied from many sources. Using graphs theory elements, a synthetic matrix expression is reached. Details concerning the application of Newton-Raphson algorithm and of the bifactorization method for solving the equation systems with non-frequent matrices resulting from the model are given.

Introducere

Avînd în vedere extinderea considerabilă a rețelelor de termoficare, creșterea gradului lor de complexitate și diversificarea condițiilor concrete de exploatare, devine imperios necesar ca, atît în faza de proiectare, cît și în activitatea curentă de operare — să se dispună de instrumente de calcul performante, capabile să modeleze fidel procesele fizice și să furnizeze răspunsuri prompte la o mare varietate de situații care pot apărea în practică.

Prezentul articol descrie elementele de bază ale unui model matematic pentru simularea regimului hidraulic permanent într-o rețea de termoficare complexă, buclată, alimentată din mai multe surse, prevăzută cu stații de pompare intermediare, organe de reglare și control etc. și care include, atît circuitele de tur, cît și pe cele de retur. În partea a doua, sînt sugerate căi de utilizare a modelului pentru rezolvarea unor probleme concrete referitoare la comportarea hidraulică a acestor rețele, atît în regimurile nominale de calcul, cît și în regimuri variabile (modificarea presiunii de pompare la surse, reducerea consumului la un grup de utilizatori, separarea unui segment de rețea ș.a.).

Pornind de la noțiuni de teoria grafurilor, se ajunge la o formulare matricială condensată, care admite sarcinile piezometrice în nodurile rețelei ca necunoscute ale modelului. Sistemul de ecuații algebrice nelineare obținut se rezolvă prin procedeul iterativ Newton-Raphson, utilizînd tehnici de lucru cu matrice rare. Aceasta permite ca programele de calcul elaborate să poată aborda probleme de mari dimensiuni, cu un număr apreciabil de noduri în rețea, așa cum este cazul sistemelor de alimentare centralizată cu căldură, în etapa actuală.

Trebuie subliniat gradul de interes și utilitate pe care l-ar prezenta compararea rezultatelor furnizate de acest model cu rezultatele obținute prin formulări alternative (debitele pe conducte ca necunoscute sau corecțiile de debite pe bucle ca necunoscute), folosind alte metode de rezolvare (linearizarea) sau alte tehnici specifice sistemelor cu matrice rare. Această comparație ar trebui să includă aspecte ca : precizie și eficiență de calcul, dimensiunea problemei analizate, ușurința de acomodare la situații particulare, comoditatea de implementare și rulare, posibilitatea de incorporare în modele mai complexe, vizînd — spre exemplu — dimensionarea sau operarea optimă ș.a.

1. Descrierea structurii geometrice a rețelei

Este cunoscut faptul că structura geometrică a unei rețele (hidraulică, electrică etc.) poate fi descrisă cu ajutorul unui graf orientat asociat. Dacă se reprezintă fiecare conductă a rețelei hidraulice printr-un segment de linie orientat și se figurează toate segmentele corespunzătoare conductelor ce alcătuiesc rețeaua, se obține graful sistem al rețelei. În figura 1 *a* s-a reprezentat o rețea hidraulică plană, conținînd 12 conducte și 9 noduri, alimentată de la o sursă și deservind 6 consumatori. Figura 1 *b* indică un graf posibil asociat acestei rețele.

* Dr. ing. Radu Popa, conf. dr. ing. Aureliu Leca — Facultatea de Electrotehnică și Energetică, Institutul Politehnic București, ing. Nicolae Niculescu, ing. Ion Uță — Institutul de Studii și Proiectări Energetice București.

Topologia grafului asociat este definită în mod complet și univoc prin matricea incidențelor [A] și matricea circuitelor fundamentale [B]. Se ia un graf cu N vîrfuri și K arce.

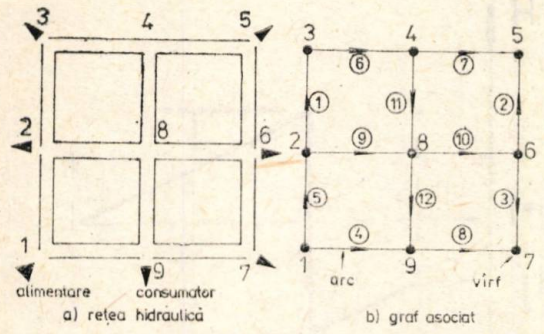


Fig. 1.

Matricea [A] specifică incidențele tuturor arcelor în vîrfurile grafului. Elementele ei, A_{ij}, au valorile : 0 — dacă arcul j nu este incident în vîrful i; 1 — dacă arcul j este incident în vîrful i și orientat dinspre acest vîrf (incidență pozitivă); — 1 — dacă arcul j prezintă incidență negativă față de vîrful i. Fiecare coloană din [A] conține doar două elemente nenule, egale cu ± 1. Liniile matricei [A] sînt linear dependente, oricare putînd fi obținută ca suma celorlalte, luată cu semn schimbat. Pentru graful din figura 1 *b* matricea de incidență va fi : [A].

Arborele unui graf este subgraful ce conține toate vîrfurile lui, dar nu conține circuite. El este format din N — 1 arce numite ramuri. Între oricare pereche de vîrfuri din arbore, există o singură traiectorie distinctă. Coarborele este complementul arborelui în raport cu graful și conține K — N + 1 arce numite coarde.

Adăugînd o coardă la arbore, se va forma un circuit ; deci într-un graf se pot preciza K — N + 1 circuite fundamentale, specificate prin matricea circuitelor [B]. Sensul de parcurgere a circuitului se ia identic cu sensul coardei care îl definește. Elementele B_{ij} au valorile : 0 — dacă arcul j nu aparține circuitului i; 1 — dacă arcul j aparține circuitului i și are aceeași orientare cu el; — 1 — dacă arcul j are orientare opusă circuitului i, de care aparține. Pentru graful din figura 1 *b* matricea circuitelor va fi : [B].

Cu transpusele matricelor respective, rezultă egalitățile : $[B]^t\,[A] = 0$ și $[A]^t\,[B] = 0$, care sînt adevărate pentru orice graf și orice mod corect de formare a subgrafurilor arbore și coarbore.

Structura geometrică a rețelei hidraulice va fi deci complet și unic definită prin intermediul

$[A] =$

Arce → / Vîrfuri ↓	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0
2	1	0	0	0	−1	0	0	0	1	0	0	0
3	−1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	−1	1	0	0	0	1	0
5	0	−1	0	0	0	0	−1	0	0	0	0	0
6	0	1	1	0	0	0	0	0	0	−1	0	0
7	0	0	−1	0	0	0	0	−1	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	−1	1	−1	1
9	0	0	0	−1	0	0	0	1	0	0	0	−1
	coarbore				arbore							

$[B] =$

Arce → / Coarde (circuite) ↓	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1	0	0	0	0	1	0	0	−1	0	1	0
2	0	1	0	0	0	0	−1	0	0	1	1	0
3	0	0	1	0	0	0	0	−1	0	1	0	−1
4	0	0	0	1	−1	0	0	0	−1	0	0	−1

matricelor de incidență, $[A]$, și a circuitelor, $[B]$, pentru graful asociat.

2. Ecuații generale pentru curgerea permanentă în rețea

Se acceptă momentan că, în afară de cele K conducte, mai există următoarele elemente de rețea :

— Consumatori sau surse de debit, care prelevează sau introduc debite cunoscute în toate nodurile rețelei sau numai în unele noduri, debite notate cu q_i, $i = 1, \ldots, N$ și care formează vectorul coloană N-dimensional (q). Debitele de consum se admit pozitive, iar cele de aport — negative. Evident, este necesar ca

$$\sum_{i=1}^{N} q_i = 0, \qquad (1)$$

deci doar cel mult N — 1 valori pot fi precizate în mod independent.

— Surse de presiune activă, plasate pe conductele rețelei, care introduc presiuni active cunoscute și independente de debitele circulînd pe conducte, presiuni notate cu P_i, $i=1, \ldots K$ și care formează vectorul coloană K-dimensional (P).

Comportarea hidraulică a conductelor este complet definită dacă se cunosc debitele tranzitate și pierderile de sarcină între nodurile de capăt. Se notează cu Q_i și h_i debitul care circulă și respectiv pierderea de sarcină pe conducta i. Mărimile Q_i, h_i, $i = 1, \ldots K$ formează vectorii coloană K-dimensionali (Q) și (h), care conțin, de fapt cele 2K necunoscute ale problemei.

Relația lui Bernoulli scrisă în lungul conductei i, definită de nodurile j (amonte) și $j + 1$ (aval), este :

$$z_j + \frac{p_j}{\gamma} + P_i = z_{j+1} + \frac{p_{j+1}}{\gamma} + \Delta h_i, \qquad (2)$$

unde :

z este cota geodezică ;
p — presiunea ;
γ — greutatea specifică.

Dacă se introduce sarcina piezometrică $H = z + p/\gamma$, relația (2) devine :

$$H_j - H_{j+1} + P_i = \Delta h_i$$

și în sfîrșit :

$$h_i + P_i = \Delta h_i, \qquad (3)$$

unde :

$h_i = H_j - H_{j+1}$ reprezintă pierderea de sarcină piezometrică pe conducta i ;
Δh_i — pierderea totală de sarcină pe conducta respectivă.

De regulă, pe conductele care conțin surse de presiune activă graficul piezometric arată ca în figura 2, termenul $h_i = H_j - H_{j+1}$ fiind negativ. Dacă $P_i = 0$, rezultă evident că $h_i = \Delta h_i$.

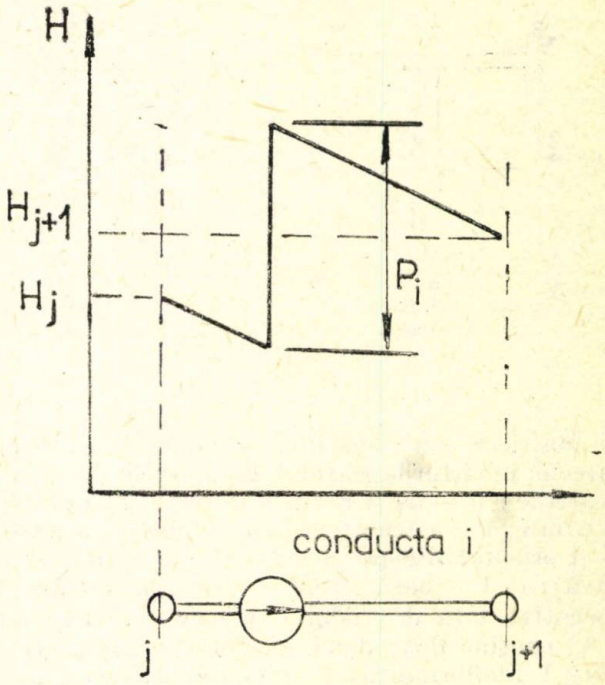


Fig. 2.

Sub forma cea mai generală, relația între pierderile de sarcină pe conductă și debitul tranzitat este :

$$\Delta h = \mathcal{R} * Q^2, \qquad (4)$$

unde $\mathcal{R}$ este o funcție neliniară (funcția rezistenței hidraulice) ce operează asupra debitului.

Dacă se apelează la ecuația Darcy-Weisbach :

$$\Delta h = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} = \frac{8\lambda L}{g\pi^2 D^5} Q^2, \qquad (5)$$

se observă că $\mathcal{R} = r.(.)^2$, iar rezistența hidraulică $r = \dfrac{8\lambda L}{g\pi^2 D^5}$ rezultă din datele geometrice ale conductei (L — lungimea, D — diametrul), dacă se neglijează dependența coeficientului de frecare λ de debitul Q.

Exprimînd debitul în funcție de pierderea de sarcină sub forma :

$$Q = \mathcal{C} * \Delta h, \qquad (6)$$

apare funcția neliniară a conductivității hidraulice, $\mathcal{C}$, care operează asupra lui Δh. Ecuația (5) devine :

$$Q = \sqrt{\frac{g\pi^2 D^5}{8\lambda L}} (\Delta h)^{0,5}, \qquad (7)$$

deci $\mathcal{C} = c.(\cdot)^{0,5}$, iar conductivitatea hidraulică $c = \frac{1}{\sqrt{r}}$.

Admiţînd relaţia pătratică (5), ecuaţia (3) ia forma :

$$h_i + P_i = r_i Q_i |Q_i| \qquad (8)$$

unde prin introducerea lui $|Q_i|$ se ţine seama de sensul curgerii.

Dacă se notează cu $[R]$ o matrice diagonală de dimensiuni $K \times K$, avînd ca elemente diagonale nenule valorile rezistenţelor hidraulice r_i şi prin $[\bar{Q}]$ matricea diagonală $K \times K$, avînd elementele diagonale nenule $|Q_i|$, forma matriceală a ecuaţiilor (8) scrise pentru întreaga reţea, este :

$$(h) + (P) = [R]\,[\bar{Q}]\,(Q). \qquad (9)$$

Ea furnizează K ecuaţii de legătură între cele $2K$ necunoscute ale problemei.

În mod similar, dacă se defineşte matricea diagonală $[C]$, de dimensiuni $K \times K$ şi avînd elementele diagonale nenule c_i, forma matriceală a ecuaţiilor (6) scrise pentru întreaga reţea este :

$$(Q) = [C]*((h) + (P)), \qquad (10)$$

unde s-a ţinut seama de (3), iar asteriscul precizează că matricea $[C]$ operează neliniar asupra vectorului $(h) + (P)$.

Ecuaţia matriceală (10) corespunde la K ecuaţii algebrice nelineare, care conţin — sub o altă formă decît (9) — cele 2K necunoscute.

Pe lîngă ecuaţiile (9) sau (10), care precizează relaţii de legătură între pierderile de sarcină şi debitele pe conducte, în cazul proceselor de curgere în reţele (atît hidraulice, cît şi electrice etc.) sînt aplicabile şi legile lui Kirchoff.

Particularizat la reţele hidraulice, prima lege Kirchoff se exprimă matriceal cu ajutorul matricei de incidenţă $[A]$, sub forma

$$[A]\,(Q) + (q) = 0 \qquad (11)$$

în care vectorul coloană (Q) conţine debitele pe conducte, în ordinea apariţiei arcelor în matricea $[A]$, iar vectorul coloană (q) conţine debitele exterioare din noduri, în ordinea apariţiei vîrfurilor în matricea $[A]$.

Fiecare ecuaţie algebrică provenită din (11), corespunde continuităţii debitelor în cîte un nod de reţea şi se reaminteşte că doar N—1 dintre acestea sînt liniar independente.

Cea de-a doua lege Kirchoff pentru reţele hidraulice se exprimă cu ajutorul matricei circuitelor $[B]$, sub forma

$$[B](h) = 0, \qquad (12)$$

unde vectorul coloană (h) conţine pierderile de sarcină pe conducte, în ordinea apariţiei arcelor în matricea $[B]$.

Orice model matematic pentru hidraulica reţelelor de conducte se va construi pornind de la relaţiile fundamentale reprezentate de ecuaţiile (9) şi/sau (10), (11) şi (12).

3. Model matematic cu sarcinile piezometrice în noduri ca necunoscute

Avînd în vedere definiţia variabilei h_i, se verifică că pentru orice reţea hidraulică există relaţia

$$(h) = [A]^t\,(H), \qquad (13)$$

unde $[A]^t$ este transpusa matricei de incidenţă, iar (H) este vectorul coloană N-dimensional conţinînd ca elemente sarcinile piezometrice din nodurile reţelei H_j, $j = 1, \ldots N$.

Dacă în sistemul de ecuaţii matriceale alcătuit din relaţiile (10), (11) şi (13):

$$\begin{cases} (Q) = [C]*((h) + (P)) \\ [A](Q) + (q) = 0 \\ (h) = [A]^t\,(H) \end{cases} \qquad (14)$$

se înlocuieşte vectorul (h) dat de ultima relaţie în prima şi se introduce apoi forma obţinută pentru (Q) în cea de-a doua relaţie (corespunzînd primei legi Kirchoff), se găseşte :

$$[A]\,[C]*([A]^t\,(H) + (P)) + (q) = (F(H)) = 0. \qquad (15)$$

Ecuaţia matriceală (15) reprezintă forma cea mai restrînsă a modelului matematic pentru problema curgerii într-o reţea hidraulică, admiţînd sarcinile piezometrice în noduri ca necunoscute. Ea furnizează N—1 ecuaţii algebrice nelineare, corespunzînd nodurilor linear independente din reţea. Pentru a putea rezolva sistemul format de aceste ecuaţii, este necesar să se cunoască sarcina piezometrică în unul din nodurile reţelei, ceea ce este în general posibil în toate situaţiile practice.

Vectorul (F(H)) conţine valorile abaterilor de la prima lege Kirchoff (continuitatea debitelor) în nodurile reţelei. Pentru valorile corecte ale sarcinilor piezometrice în noduri, toate componentele vectorului (F) vor fi nule. De aici provine şi denumirea de „metoda echilibrării debitelor în reţea", care se foloseşte uneori pentru acest gen de abordare.

După determinarea valorilor H_j, celelalte mărimi de interes, (h_i şi Q_i), se calculează folosind celelalte ecuaţii ale procesului (relaţiile (13) şi (10)).

O formă mai generală pentru modelul reprezentat de ecuația matriceală (15), se poate obține considerînd vectorii coloană (H), (q), (H_r), (q_r), (Q) și (h) care conțin: sarcinile piezometrice necunoscute din nodurile rețelei, debitele exterioare cunoscute, sarcinile piezometrice cunoscute, debitele exterioare necunoscute, debitele necunoscute pe conducte și respectiv pierderile de sarcină necunoscute pe conductele rețelei.

Prima lege Kirchoff se va exprima acum sub forma

$$\begin{bmatrix} A \\ A_r \end{bmatrix}^{(Q)} + \begin{pmatrix} q \\ q_r \end{pmatrix} = 0 \qquad (16)$$

unde $[A]$ și $[A_r]$ sînt submatrice ale matricei de incidență.

Relația (13) se scrie fracționat ca

$$(h) = [A]^t (H) + [A_r]^t (H_r) \qquad (17)$$

și ținînd seama de (10), ecuația matriceală a modelului devine

$$[A]\,[C]*([A]^t (H) + [A_r]^t (H_r) + (P)) + \\ + (q) = (F(H)) = 0 \qquad (18)$$

unde s-a utilizat prima linie de produse matriceale din (16).

Referitor la problema includerii în model a altor elemente de rețea (organe de control al sensului curgerii, regulatoare de presiune sau debit, pompe intermediare etc.), există două căi principale de abordare. Prima conduce la modificarea structurală, într-o oarecare măsură, a rețelei originare, iar cea de-a doua poate fi implementată printr-un algoritm iterativ ce operează asupra aceleiași topologii, fiind preferabilă în cazul unor rețele mari, analizate cu programe de calcul generale. Se prezintă în continuare cîteva exemple aparținînd primei metode.

Se admite că pe conducta i, delimitată de nodurile j și $j+1$ și avînd conductanța hidraulică c_i, există un organ de control de sens al curgerii, care permite tranzitul de debit doar de la nodul j spre $j+1$ (fig. 3). Dacă din rezolvarea problemei de curgere pe rețeaua care include conducta i, se obține $H_j > H_{j+1}$, se consideră că organul de control își execută funcția. Dacă însă $H_j < H_{j+1}$, problema trebuie rezolvată din nou pentru o rețea din care se exclude conducta i sau pentru rețeaua originară dar impunînd $c_i = 0$ (ceea ce va conduce la $Q_i = 0$).

Cazul unei pompe intermediare de rețea, plasată pe conducta i (fig. 4) și avînd caracteristica:

$$Q = Q_0 - a \cdot h^b, \qquad (19)$$

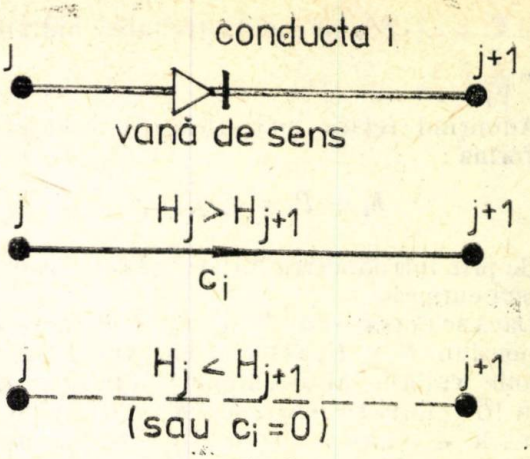


Fig. 3.

unde Q_0, a și b sînt constante ce se obțin cu ușurință, se schematizează scriind (19) sub forma:

$$Q' = Q - Q_0 = -a \cdot h^b. \qquad (20)$$

Se observă că ansamblul conductă-pompă poate fi înlocuit printr-o conductă specială, avînd conductivitatea hidraulică negativă $c_i = -a$, exponentul lui h dintr-o relație ca (7) egal cu b în loc de 0,5 și două debite exterioare fictive egale cu Q_0, cel din nodul amonte fiind de consum, iar cel din nodul aval — de aport. După calcularea sarcinilor în noduri, debitul real pe conductă se va obține cu $Q_i = Q_0 - a \cdot (H_j - H_{j+1})^b$.

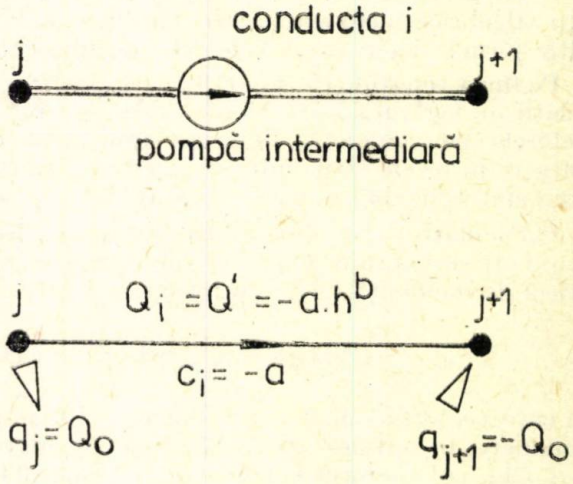


Fig. 4.

Prin artificii asemănătoare se pot modela și alte elemente de rețea.

4. Algoritmul Newton-Raphson pentru rezolvarea modelului

Ecuația matriceală (18) furnizează un număr de ecuații algebrice nelineare egal cu numărul de linii din submatricea [A] și care este egal cu

numărul nodurilor din rețea avînd sarcina piezometrică necunoscută. După rezolvarea acestui sistem nelinear și găsirea componentelor vectorului coloană (H), se determină succesiv vectorii (h), apoi (Q) și în final (q_r), folosind ecuația de definiție pentru h_i, ecuația (10) și respectiv ecuația derivată din a doua linie de produse matriceale a relației (16).

Algoritmul Newton-Raphson este unul dintre procedeele iterative cele mai eficiente pentru rezolvarea sistemelor de ecuații nelineare. Are proprietăți de convergență de tip pătratic și poate fi implementat fără un consum exagerat de memorie.

Baza lui o reprezintă generalizarea schemei iterative de rezolvare a unei ecuații nelineare de forma $f(x) = 0$, conform căreia soluția îmbunătățită de la iterația $m + 1$ se deduce cu relația

$$x_{m+1} = x_m - \frac{f(x_m)}{\frac{df}{dx}(x_m)}.$$

Pentru inițierea algoritmului, este necesar să se dispună de o soluție inițială care — în cazul problemei de față — se deduce admițînd că ecuația matriceală (18) este lineară în raport cu vectorul necunoscutelor (H). Rezultă succesiv :

$$[A]\,[C]([A]^t\,(H)^\circ + [A_r]^t\,(H_r) + (P)) + (q) = 0 \tag{21}$$

$$[A][C]\,[A]^t\,(H)^\circ = -([A]\,[C]\,([A_r]^t\,(H_r) + (P)) + (q))$$

$$(H)^\circ = -[[A]\,[C]\,[A]^t]^{-1}\,([A][C]\,([A_r]^t\,(H_r) + (P)) + (q)) \tag{22}$$

unde prin $(H)^\circ$ s-a notat soluția inițială, iar exponentul -1 semnifică inversa matricei respective.

Este ușor de observat din (18) că:

$$[A]\,[C]([A_r]^t\,(H_r) + (P)) + (q) = (F(0)), \tag{23}$$

adică vectorul de funcții (F) corespunzînd vectorului soluție $(H) = 0$.

Pe de altă parte, dacă se notează cu $[J]$ matricea Jacobian obținută prin derivarea parțială a lui (F) în raport cu (H), adică $[J] = \partial(F)\,/\,/\,\partial(H)$, se constată că, generalizînd pentru forma lineară (21), rezultă :

$$[J_0] = \left[\frac{\partial(F)}{\partial(H)}\right]_{(H)\,=\,(H)^\circ} = [A]\,[C]\,[A]^t \tag{24}$$

unde matricea $[J_0]$ se poate obține cunoscînd doar topologia rețelei (prin matricea de incidență) și datele geometrice ale conductelor (prin matricea conductivităților).

În consecință, soluția inițială (22) apare sub forma

$$(H)^\circ = -[J_0]^{-1}(F(0)), \tag{25}$$

în calculul ei intrînd doar elemente cunoscute.

În continuare, algoritmul iterativ comportă următorii pași de calcul :

1) Fie $(H)^m$ soluția la o iterație oarecare m. Vectorul de corecție a soluției după această iterație se admite de forma $(\delta H)^m = (H)^{m+1} - -(H)^m$ și se obține rezolvînd ecuația :

$$[J_m](\delta H)^m = -(F(H)^m) \tag{26}$$

în care matricea Jacobian va fi :

$$[J_m] = \left[\frac{\partial(F)}{\partial(H)}\right]_{(H)\,=\,(H)^m} = [A]\left[\frac{\partial([C]*(h))}{\partial(h)}\right]_{(h)\,=\,(h)^m}\left[\frac{\partial(h)}{\partial(H)}\right] \tag{27}$$

unde s-a ținut seama de (17) în (18). Notînd :

$$[C'_m] = \left[\frac{\partial([C]*(h))}{\partial(h)}\right]_{(h)\,=\,(h)^m}$$

și observînd din (17) că $/\partial(h)/\partial(H)] = [A]^t$, relația (27) devine :

$$[J_m] = [A][C'_m]\,[A]^t \tag{28}$$

deci matricea Jacobian $[J_m]$ este structural identică cu matricea $[J_0]$, cu singura deosebire că în locul conductivităților hidraulice vor apărea acum derivatele lor și anume $c'_i = 0{,}5 \cdot c_i\,|h_i|^{-0{,}5}$, calculate cu soluția de la iterația m. Pe de altă parte, vectorul $(F(H)^m)$ rezultă ușor avînd în vedere că elementele sale reprezintă abaterile de la continuitatea debitelor în nodurile rețelei, pentru soluția de la iterația m. Deci, vectorul de corecție $(\delta H)^m$ este calculabil prin rezolvarea sistemului de ecuații algebrice lineare derivat din (26).

2) Se verifică încadrarea într-un criteriu de precizie cum ar fi

$$\overset{max}{j} = 1, \ldots N \left|\frac{\delta H_j^m}{H_j^m}\right| \leqslant \varepsilon, \tag{29}$$

unde ε se alege suficient de mic. Dacă acest criteriu este satisfăcut, soluția la ultima iterație, $(H)^m$, reprezintă soluția finală a problemei. În caz contrar, se trece la :

3) Vectorul soluției la iterația următoare se ia de forma

$$(H)^{m+1} = (H)^m + \omega \cdot (\delta H)^m \qquad (30)$$

unde ω este un coeficient de pondere și $0 < \omega \leqslant 1$. Cu acest vector, se revine la 1) și calculele se reiau iterativ pînă la realizarea criteriului (29).

Pe măsură ce iterațiile avansează, componentele vectorilor (F) și (δH) vor tinde către zero. Experiența de calcul a demonstrat că, dacă se alege o precizie rezonabilă din punct de vedere tehnic, numărul de iterații nu depășește cifra 5, chiar în cazul rețelelor de dimensiuni mari.

5. Asupra rezolvării sistemului linear de ecuații algebrice

După cum se remarcă, algoritmul Newton-Raphson implică rezolvarea repetată a unor sisteme de ecuații algebrice lineare de forma

$$[M](Y) = (T) \qquad (31)$$

în care matricea coeficienților $[M]$ este $[J_0]$ sau $[J_m]$, vectorul necunoscutelor (Y) este $(H)^\circ$ sau $(\delta H)^m$, iar vectorul termenilor liberi (T) este $-(F(0))$ sau $-(F(H)^m)$, așa cum apar aceștia în ecuațiile (25) sau respectiv (26).

Se precizează că matricea Jacobian este simetrică, avînd o serie de coeficienți nuli. Referitor la matricea $[J_0]$, fiecare linie a ei corespunde unui nod independent de rețea, iar termenul diagonal conține suma conductivităților hidraulice ale conductelor ce fac joncțiunea în nodul respectiv. Alte elemente nenule pe linie apar doar în dreptul coloanelor ce corespund unor noduri legate direct printr-o conductă cu nodul ce specifică linia respectivă, iar valorile lor sînt conductivitățile acestor conducte luate cu semn schimbat. Matricea $[J_m]$ este structural identică cu $[J_0]$, singura deosebire fiind că în loc de c_i se vor lua valorile c_i' calculate cu soluția de la iterația m.

Este ușor de constatat că numărul coeficienților nenuli din $[J]$ sau $[J_m]$ nu depășește cifra de $N + 2K$ (dintre care N sînt termeni diagonali, iar $2K$ — termeni nediagonali), astfel încît densitatea matricei Jacobian rezultă

$$d \leqslant \frac{N + 2K}{N^2} \cdot 100\ \%.$$

Pentru o rețea cu $N = K = 100$ se obține densitatea $d = 3\ \%$, iar pentru $N = K = 300$, rezultă $d = 1\ \%$, ceea ce demonstrează clar oportunitatea folosirii tehnicilor de lucru cu matrice rare. În cazul de față, acestea presupun stocarea și operarea doar cu elementele nenule ale matricei, ba mai mult — datorită simetriei — doar a elementelor diagonale și a celor supra sau subdiagonale.

Pe de altă parte, calculul inversei matricei $[M]$ (așa cum ar solicita aplicarea directă a relațiilor (25) sau (26)), ar corespunde unui număr de N^3 operații pe iterație și un volum de memorie de N^2 locații, pe lîngă cele N^2 operații implicate de produsul $[M]^{-1}(T)$. Din această cauză, apare preferabilă o metodă de rezolvare a sistemului prin care să se evite calculul inversei matricei coeficienților.

S-a adoptat ca metodă directă de rezolvare a unui sistem de ecuații lineare de forma (31) metoda bifactorizării, [6], care s-a dovedit adecvată pentru sisteme cu matrice rare, diagonal dominante și care sînt numeric sau structural simetrice. Avînd un sistem de n ecuații algebrice lineare, ideea metodei constă în determinarea a $2n$ factori matriceali, astfel încît să existe relația :

$$[L]^n[L]^{n-1} \ldots [L]^1 [M][U]^1 [U]^2 \ldots [U]^n = [I] \qquad (32)$$

unde $[I]$ este matricea unitate, iar $[L]^j$ și $[U]^j$ sînt factori matriceali inferior și respectiv superior triunghiulari. Atunci, din (32) rezultă imediat inversa matricei $[M]$ sub forma

$$[M]^{-1} = [U]^1 [U]^2 \ldots [U]^n [L]^n [L]^{n-1} \ldots [L]^1, \qquad (33)$$

produsul factorilor matriceali efectuîndu-se relativ simplu.

Pentru determinarea factorilor matriceali $[L]^j$ și $[U]^j$, se introduc matricele intermediare :

$$\begin{aligned} [M] &= [M]^\circ \\ [M]^1 &= [L]^1 [M]^0 [U]^1 \\ &\ldots\ldots\ldots\ldots \\ [M]^j &= [L]^j [M]^{j-1} [U]^j \\ &\ldots\ldots\ldots\ldots \\ [M]^n &= [L]^n [M]^{n-1} [U]^n = [I], \end{aligned} \qquad (34)$$

care permit transformarea matricei originare în matricea unitate.

Calculul matricelor $[M]^j$, $[L]^j$ și $[U]^j$ din matricea $[M]^{j-1}$ se efectuează ca mai jos.

1) Elementele matricei $[M]^j$ cu relațiile :

$$\begin{aligned} &M^j_{jj} = 1 \\ &M^j_{ij} = 0\,; \quad M^j_{jk} = 0 \quad \text{pentru } i = k > j \\ &M^j_{ik} = M^{j-1}_{ik} - \frac{M^{j-1}_{ij}\, M^{j-1}_{jk}}{M^{j-1}_{jj}} \quad \text{pentru } i,\ k > j \end{aligned} \qquad (35)$$

2) Factorul matriceal inferior triunghiular $[L]^j$ diferă de matricea unitate doar prin coloana j, în care

$$L^j_{jj} = \frac{1}{M^{j-1}_{jj}} \text{ și } L^j_{ij} = -\frac{M^{j-1}_{ij}}{M^{j-1}_{jj}}, \text{pentru } i > j. \tag{36}$$

3) Factorul matriceal superior triunghiular $[U]^j$ diferă de matricea unitate doar prin linia j, în care

$$U^i_{jk} = -\frac{M^{j-1}_{jk}}{M^{j-1}_{jj}} \text{ pentru } k > j. \tag{37}$$

Evident, $[U]^n = [I]$ și atunci soluția sistemului (31) va fi

$$(X) = [U]^1[U]^2 \ldots [U]^{n-1}[L]^n[L]^{n-1} \ldots [L]^1(T) \tag{38}$$

ceea ce implică înmulțirea succesivă a vectorului membru drept (T) cu cei $2n - 1$ factori matriceali ai descompunerii (33).

În cazul matricelor simetrice, deoarece $M^{j-1}_{ik} = M^{j-1}_{ki}$, rezultă că $U^j_{jk} = L^j_{ij}$ pentru $i = k \neq j$, adică linia j a matricei $[U]^j$ este identică cu coloana j a matricei $[L]^j$, cu excepția elementului diagonal. Deci, operațiile de bifactorizare se vor efectua doar asupra elementelor diagonale și supradiagonale din $[M]$.

Baza oricărei scheme de factorizare se regăsește în procedeul de eliminare Gauss, așa cum se aplică el la rezolvarea sistemelor lineare. Or, se știe că în cazul matricelor rare, pe parcursul procesului de eliminare, vor apărea unele elemente de umplere, nenule, în locații ale matricei originare care inițial conțineau coeficienți nuli.

Problema conservării cît mai fidele a structurii rare a matricei originare, se rezolvă prin ordonarea corespunzătoare a pivoților, cunoscînd că pentru matrice rare, simetrice și diagonal dominante, elementele diagonalei principale pot fi folosite ca pivoți, în orice ordine și fără a afecta precizia numerică a soluției. Dintre schemele de ordonare cunoscute, [7], s-a utilizat cea mai simplă, și anume : ordonarea după numărul elementelor nenule conținute în fiecare linie, astfel încît ultimele linii să conțină cele mai multe elemente.

O cerință la fel de importantă în economia de timp și memorie a rezolvării, este cea a imaginării unei scheme de memorare a elementelor nenule din matricea sistemului și a celor de umplere apărute la factorizare. S-a optat pentru o schemă de memorare cu adrese înlănțuite [6], adaptată la cazul matricelor simetrice.

Avînd în vedere cele de mai sus, etapele de parcurs în abordarea efectivă a unui sistem ca (31) ar fi :

1) reordonarea ecuațiilor în sistem, pentru limitarea numărului de elemente de umplere (ceea ce implică-pentru problema concretă-renumerotarea nodurilor, rearanjarea datelor de intrare în consecință ș.a.);

2) factorizarea simbolică a matricei sistemului, care nu presupune operații aritmetice efective, ci doar simulează procesul de eliminare, cu apariția elementelor de umplere și stabilirea poziției lor în listele de memorare;

3) factorizarea numerică a matricei și calculul soluției, care implică determinarea elementelor matricei originare ținînd seama de ordonarea făcută, calculul factorilor matriceali $[L]^j$, $[U]^j$ și a matricelor intermediare $[M]^j$ pentru $j = 1, \ldots, n$ în această ordonare și, în final, obținerea vectorului soluție cu produsul din (38);

4) revenirea la numerotarea inițială și afișarea rezultatelor de interes.

În timp ce operațiile din etapele 1), 2) și 4) se efectuează o singură dată la rezolvarea unei probleme de curgere în rețea, cele din etapa 3) se reiau la fiecare iterație a algoritmului Newton-Raphson. Totuși, dacă se iau în considerație toate aspectele menționate, se ajunge la programe de calcul extrem de eficiente și cu un necesar de memorie limitat.

Bibliografie

[1] Chandrashekar, M., Stewart, K. H. *Sparsity oriented analysis of large pipe network.* ASCE, J. Hydr. Div., vol. 101, no. HY4, 1974.

[2] Jepson, R. W., Davis, A. L. *Pressure reducing valves in pipe network analysis.* ASCE, J. Hydr. Div., vol. 102, no. HY7, 1976.

[3] Chandrashekar, M. *Extended set of components in pipe networks.* ASCE, J. Hydr. Div., vol. 106, no. HY1, 1980.

[4] Isaacs, L. T., Mills, K. G. *Linear theory methods for pipe network analysis.* ASCE, J. Hydr. Div., vol. 106, no. HY7, 1980.

[5] Gofman, E., Rodeh, M. *Loop equations with unknown pipe characteristics.* ASCE, J. Hydr. Div., vol. 107, no. HY9, 1981.

[6] Andrei, N., Răsturnoiu, C. *Matrici rare și aplicațiile lor.* Ed. Tehnică, București, 1983.

[7] Tinney, W. F., Meyer, W. S. *Solution of large sparse systems by ordered triangular factorization.* IEEE Trans. Automatic Control, vol. 17, no. 4, 1973.

[8] Zingher, N. M. *Гидравлические и тепловые режимы теплофикационных системы.* Москва, Энергоатомиздат, 1986.

[9] Соколов, И. Е. *Теплофикация и тепловые сети.* Москова, Энергоатомиздат, 1982.

(Primit la 20 decembrie 1988, acceptat la 15 februarie 1989)

Cu privire la terminologia energetică în organizațiile internaționale

Dr. ing. LIVIU GROZA *

Domeniul energetic în general și cel al energiei electrice și electrotehnicii în special, în continuă evoluție tehnologică trece prin transformări continue și în domeniul terminologiei.

Utilizarea corectă a termenilor, în aceste condiții, necesită eforturi continue și susținute din partea specialiștilor organizațiilor naționale și internnționale contribuind la buna înțelegere a celor care lucrează în diverse domenii: specificații, comerț și utilizare de echipamente, precum și cercetare, dezvoltare, învățămînt etc.

Diversele organizații internaționale: Comisia Electrotehnică Internațională (CEI), Conferința Mondială a Energiei (CME), CAER, UCPTE, UNIPEDE și, în ultima vreme, CEE — ONU, se preocupă de elaborarea și publicarea periodică a termenilor utilizați în limbile de largă circulație (engleză, franceză, rusă, germană, spaniolă, poloneză, italiană, olandeză, suedeză etc.).

Alte organizații ca OIS, AIE, OCDE, AIEA elaborează de asemenea glosare, dicționare etc. pentru uzul propriu, de multe ori specific organizației.

În ultima vreme se constată o colaborare tot mai strînsă între aceste organizații. Același termen, de multe ori definit în mod diferit de către diversele organizații, tradus diferit, este supus unor discuții de aliniere; ar fi normal ca termenii să fie definiți la fel, însă uneori interesele specifice sau lipsa de colaborare îngreuiază procesul de aliniere.

Totuși, se fac progrese remarcabile în această direcție. O tendință ce se constată este simplificarea definițiilor pe măsura precizării termenilor în domenii ce evoluează rapid, cum ar fi, de exemplu, energia nucleară.

CEE — ONU a reușit să organizeze pînă în prezent colaborarea între șase organizații internaționale pentnru selecția și reperarea celor mai utilizați termeez, definiți în diversele organizații, să informatize, procesul prin depunerea în memoria calculatorului Centrului Internațional de Calcul (CIC) de la Geneva a codului termenilor, definit de fiecare organizație. Acest lucru permite o orientare mai ușoară, mereu actualizată, a participanților la discuții și comunicări în domeniul specificării, comerțului și utilizatorilor în general.

Prin informatizare, care se află în curs de implementare la CEI, CEE — ONU, CAER etc., se urmărește o orientare rapidă în cadrul aceleiași organizații, un schimb de informații operativ, o bună înțelegere între diversele organizații, actualizări introduse rapid pe calculator etc.

Bibliografie

Comisia Electrotehnică Internațională

[1] *Index general al vocabularului electrotehnic internațional* (în limba franceză, engleză), Geneva, 1979.

[2] *Dicționar CEI multilingv al electricității* (în limba franceză și engleză, cu traduceri în rusă, germană, spaniolă, italiană, olandeză, poloneză și suedeză), Geneva, 1983.

[3] *Tezaurul CEI rațional al electricității.* Geneva, 1986.

Conferința Mondială a Energiei

[4] *Terminologia energetică. Glosar multilingv* (în limba engleză, franceză, germană, spaniolă). Pergamon Press, 1983.

CAER

[5] *Noțiuni de bază în energetică* (în limba rusă, bulgară, cehă, germană, maghiară, polonă și română). Leipzig. 1971—1975 (în curs de actualizare, cu termen final 1990).

UNIPEDE

[6] *Terminologie utilizată în statisticile industriilor electrice* (în limba franceză, engleză, germană, italiană, spaniolă, olandeză). Paris, 1979.

UCPTE

[7] *Terminologia exploatării rețelelor interconectate a UCPTE* (în limba franceză, germană, italiană, olandeză, spaniolă, portugheză, engleză). Viena, 1978.

CEE — ONU

[8] *Lista CEE a termenilor electricității* (în limba franceză cu traduceri în engleză și rusă). Geneva, 1985.

Organizația Internațională de Standardizare (OIS)

[9] *Norma OIS* — vocabulare (publicații curente pe domenii).

[10] *Noțiuni și definiții fundamentale. Resurse energetice și economii de energie.* Geneva, 1985.

Agenția Internațională de Energie

[11] *Glosar al energiei* (în limba engleză și franceză). Paris. 1982.

[12] *Glosar al energiei nucleare* (în limba engleză și franceză). Paris, 1983.

Organizația Internațională de Metrologie Legală (OIML)

[13] *Vocabular internațional de termeni fundamentali și generali de metrologie (VIM)* (în limba franceză și engleză). ISO, Geneva, 1984.

* Dr. ing. Liviu Groza—Institutul de Studii și Proiectări Energetice, București.

Opera lui Maxwell în electromagnetism la 125 de ani de la prima publicare a concepției sale

Teoria electromagnetismului, dezvoltată în baza operei lui Maxwell, este una dintre principalele teorii ale fizicii și stă la baza electrotehnicii și radiotehnicii. Ea își are începutul în publicarea în urmă cu 125 de ani, în 1864, a comunicării *A Dynamical Theory of Electromagnetism (O teorie dinamică a electromagnetismului)*. Ulterior, teoria a fost integrată în *A treatise of Electricity and Magnetism (Tratat de electricitate și magnetism)*. În expunerea de față este sintetizată opera lui Maxwell în electromagnetism.

* * *

Descoperirile în electricitate și magnetism pînă după mijlocul secolului trecut, urmate de modelări matematice ale fenomenelor impuneau o teorie generală coerentă, care să deschidă noi căi în știință. Această operă importantă a realizat-o James Clerk Maxwell (1831—1879).

Fiul juristului, de origină scoțiană, John Clerke, care își adăugase și numele de Maxwell, s-a născut la Edinburg, la 13 iunie 1831, anul descoperirii inducției electromagnetice de către Faraday. Studiile le-a făcut la Academia și Universitatea din Edinburg, precum și la Trinity College din renumitul centru universitar Cambridge, remarcîndu-se prin lucrări prezentate la Royal Society din Edinburg la vîrsta de 15 și 18 ani.

După obținerea titlului universitar a prezentat o lucrare de matematică, care a relevat o mare capacitate de gîndire și apoi imediat studiul *On Farady's Lines of Forces (Asupra liniilor de forță ale lui Faraday)*. A fost profesor la Marishal College din Aberdeen — Scoția (1856—1860) și apoi a deținut catedra de fizică și astronomie la King's College din Londra (1806—1868). S-a retras spre a se consacra cercetărilor și studiilor, dar în 1871 a fost chemat la Universitatea din Cambridge să ocupe catedra nou înființată de fizică experimentală, precum și să organizeze și să conducă centrul de cercetări, Laboratorul Cavendish, care va deveni o instituție cu mare renume. A murit la 5.11.1879, în vîrstă de numai 48 de ani.

Opera lui Maxwell este variată; sînt de menționat lucrările:

— *Dynamical Theory of Gases*, constînd din contribuții la dezvoltarea teoriei cinetice a gazelor; lucrări experimentale și de interpretare matematică, care au condus la stabilirea importantei funcții de distribuție a moleculelor gazelor după viteze (care îi poartă numele);

— *Theory of Heat 1871 (Teoria căldurii)*;

— *Matter and Motion*, 1876 *(Materie și mișcare)*, expunere elementară asupra celor două aspecte;

— *Electrical Researches of the Henry Cavendish (Cercetările electrice ale lui Henry Cavendish)* în care sînt făcute cunoscute, pentru prima dată, remarcabilele cercetări ale marelui fizician.

Dar cea mai importantă realizare a lui Maxwell este elaborarea teoriei electromagnetismului. Parte din ideile sale le-a făcut cunoscute mai întîi prin publicarea, la 17.10.1864, la Transactions of the Royal Society**, urmată de o expunere la 8.12. 1864, într-o ședință a Societății, a lucrării *A Dynamical Theory of Electromagnetic Field (O teorie dinamică a cîmpului electromagnetic)*. În totalitate teoria a fost dezvoltată în celebra lucrare *A Treatise on Electricity and Magnetism (Tratat de electricitate și magnetism)*, apărut în trei ediții: prima în 1873, iar următoarele două după decesul lui Maxwell în 1881 și 1904, sub coordonarea lui W. D. Niven, respectiv J. J. Thomson. Expunerea, care urmează se referă la a III-a ediție.

Maxwell a avut o contribuție importantă și la stabilirea sistemelor de unități de măsură electrostatic și electromagnetic. (Bazele celor două sisteme CGS au fost puse de Gauss și Weber.) Dezvoltarea aplicațiilor electricității, în principal a telegrafiei cu fir, a dovedit necesitatea unei reglementări precise a unităților de măsură. Inițiativa acestei realizări a luat-o British Association Committee on Electrical Units, care a desfășurat o activitate intensă între anii 1861 și 1873. Lucrările încheiate în anul 1873 au condus, datorită în principal contribuției lui Maxwell, la adoptarea sistemului de unități CGS, în cele două alternative: electrostatic și electromagnetic. Aspecte privind unitățile de măsură sînt expuse în *„Tratat"* în mai multe capitole, dar în mod deosebit în capitolele: *Dimensiunile unităților de măsură*, *Unitatea electromagnetică a rezistenței* și *Compararea unităților electrostatice și electromagnetice*.

Caracteristicile generale ale „Tratatului"

„Tratatul" este un curs de electromagnetism, de nivel superior, în două volume, însumînd peste 1000 de pagini. Lucrarea cuprinde: prefețele la cele trei ediții, considerații introductive privitoare la măsurarea mărimilor și patru părți: I. *Electrostatica;* II. *Electrocinetica;* III. *Magnetismul* și IV. *Electromagnetismul*, împărțite în capitole, iar acestea în articole numerotate, în total în număr de 866.

Parte dintre ideile principale sînt sintetizate sub titlul *„Planul acestui Tratat"* (vol. I, 59—62 *). Unele aspecte expuse în părțile I—III sînt reluate în partea a IV-a și tratate în condițiile „electromagnetismului".

„Tratatul" se deosebește de cursurile obișnuite din prezent conținînd și: considerații de filozofia științelor, reflecții asupra metodelor de avansare în studiul științific, ipoteze asupra naturii fenomenelor electromagnetice, definirea semnificației unor relații și mărimi, motivări ale unor ipoteze ale fizicii, analiza unora dintre teoriile formulate de predecesori.

Cu acest conținut lărgit „Tratatul" era și un îndrumător de cercetare științifică în electromagnetism, deoarece sugera căi de aprofundare a teoriilor.

---

* Academia de Științe a Angliei, cea mai veche instituție de acest tip din lume, organizată în 1662.

* Cifrele arabe reprezintă numerele articolelor din original.

Cu toate că teoria electromagnetismului a evoluat ca mod de tratare de la Maxwell pînă în prezent, cunoașterea gîndirii inițiale înlesnește înțelegerea interpretărilor actuale.

Modelarea matematică

Maxwell cunoscînd aprofundat lucrările matematicienilor Poisson, Laplace, Green, Lagrance, Hamilton, aparatul matematic utilizat în *„Tratat"* este cel obișnuit în prezent în cursurile de nivel superior. El semnalează introducerea în fizică a metodei quaternionilor a lui Hamilton, care condensează expresiile matematice, dar în *„Tratat"* va prezenta „toate rezultatele în formă carteziană", prin relații desfășurate pe cele trei axe de coordonate, deaorece este metoda cea mai obișnuită. Uneori însă exprimă relațiile condensat, utilizînd operatorii hamiltonian σ și laplacian V^2 (vol. I/10).

Este remarcabil că Maxwell a însoțit modelarea matematică de considerații substanțiale asupra semnificației acestui demers. Chiar de la început, în capitolul preliminar, analizează natura matematică a mărimilor fizice și descifrează sensul fizic al operațiilor matematice. Pe parcurs intervine deseori spre a da semnificație operațiilor matematice. Ca exemplu de asemenea procedare este tratarea „teoremelor generale" (vol. I/95a—102c) în care expunerea teoremelor lui Green și Thomson este precedată de considerații asupra tipurilor de integrale din expresiile acestora.

Maxwell nu se limitează la asemenea intervenții locale, ci dă și o imagine generală asupra modalităților de tratare matematică a lumii fizice: *„Sîntem obișnuiți să considerăm universul constituit din părți și în mod obișnuit matematicienii încep prin a se referi la o singură particulă și apoi să conceapă relația ei cu altă particulă și așa mai departe. În general aceasta a fost admisă ca metoda cea mai naturală. Însă a concepe o particulă impune un proces de abstractizare, deoarece toate percepțiile noastre sînt legate de corpurile extinse, astfel că ideea de tot, care este în conștiința noastră la un moment dat, este poate tot atît de primitivă ca ideea de obiect individual. De aceea este posibilă și o metodă matematică în care se procedează de la tot la parte în loc de la parte la tot. De exemplu, Euclid, în prima sa carte concepe o linie ca trasată de un punct ..., dar și ca margine a unei suprafețe ...*

În cercetarea electrică se pot utiliza relații în care mărimile incluse sînt distanțele între anumite corpuri și electrizarea sau curenții acestor corpuri, sau se pot utiliza relații care includ alte mărimi, fiecare dintre ele continuă în spațiu .

Procesele matematice utilizate în prima metodă sînt integrări de linie, suprafață sau volum, finite, iar acelea din a doua metodă sînt ecuații diferențiale parțiale și integrări asupra întregului spațiu considerat.

Metoda lui Faraday pare intim legată cu a doua dintre acestea două" (vol. II/529).

O accentuare a ideilor precedente o aduce și următoarele: *„... integrala este expresia matematică pentru o teorie a acțiunii între particule la distanță, pe cînd ecuația diferențială este expresia potrivită pentru o teorie a acțiunii exercitată între părți contigue ale mediului"* (vol. I/95a).

Teoria și experiența

Deși tratatul este în principal o lucrare teoretică nu rămîne izolat de fondul experimental. Maxwell recomanda studenților ca după ce au învățat să cunoască fenomenele, experimental dacă era posibil, să citească atent lucrările lui Faraday. Afirma că el procedase la fel: *„... înainte de-a începe studiul electricității m-am hotărît să nu citesc lucrări expuse matematic asupra acestui subiect pînă nu voi fi citit mai întîi Experimental Researches in Electricity (Cercetări experimentale în electricitate)"* (prefața, p. VIII) a lui Faraday, colecție de o mare bogăție de experiențe și reflecții științifice pătrunzătoare, dar nesistematizate.

Influența acestui studiu se reflectă în *„Tratat"* prin frecvente referiri la Farady. Deși remarcabilul înaintaș nu stăpînea matematica, Maxwell studiindu-i lucrările a constatat că: *„...metoda sa de-a concepe fenomenele era și matematică, deși neexprimată în forma obișnuită a simbolurilor matematice. De asemenea, am găsit că această metodă era capabilă să fie exprimată în forme matematice obișnuite și astfel să fie comparabilă cu acelea ale matematicienilor de profesie"* (prefața, p. IX). *„Metoda pe care Faraday a întrebuințat-o în cercetările sale constă într-un apel constant la experiență ca mijloc de a testa adevărul ideilor sale și o cultivare permanentă a ideilor sub influența directă a experienței".* (vol. II/528).

Maxwell formulează o precizare în plus: *„A fost poate în avantajul științei că Faraday, deși cu totul conștient de formele fundamentale de spațiu, timp și forță nu era un matematician profesionist"* (vol. II/528).

Însă Maxwell nu diminuează importanța demersului teoretic: *„Fiecare student ar trebui să citească cercetările lui Ampère ca un exemplu splendid de stil științific la tratarea unei descoperiri ..."* (vol. II/528). Maxwell stabilește astfel cei doi poli între care trebuie să se situeze metodele de cercetare și avansare în știință.

Cunoștințele anterioare "Tratatului"

La epoca conceperii *„Tratatului"*, la nivelul anilor 1860—1870, aplicațiile electricității erau puține și nu dintre cele mai importante, cu excepția telegrafiei cu fir. Știința electricității făcuse însă mari progrese; erau de curînd cunoscute fenomenele principale și stabilite legile lor, precum și unele teorii; dezvoltarea aplicațiilor, îndeosebi a telegrafiei, incinta și dezvoltarea științifică. În cursul acestei evoluții progresele erau cunoscute mai ales prin comunicări publicate în periodice de specialitate, dar asupra cunoștințelor la care se ajunsese se elaborează și lucrări cuprinzătoare, dintre care trei sînt menționate de Maxwell ca reprezentative. Savantul își face cunoscută poziția sa asupra concepțiilor acelor lucrări, afirmînd că ipoteze fizice de bază: *„sînt cu totul străine de modul de-a privi lucrurile pe care le-am adoptat și unul dintre obiectivele pe care le am în vedere este ca cel puțin parte dintre cei care voiesc să studieze electricitatea să ajungă, citind acest tratat, să constate că este o altă cale de tratare a subiectului, care nu este mai puțin potrivită în explicarea fenomenelor și care, deși în unele părți poate apărea mai puțin definită, totuși corespunde, așa gîndesc, mult mai fidel cu actualele noastre cunoștințe, atît în ceea ce afirmă, cît și în ceea ce lasă nedecis* (prefață, p. X).

Totuși la expunerea *„planului* Tratatului" (vol. I/59) se afirmă: *„În tratatul care urmează îmi propun inițial să expun teoria obișnuită a acțiunii electrice, care o consideră dependentă numai de corpurile electrizate și de poziția lor relativă, fără a ține seama de fenomene care pot să aibă loc în mediul intermediar. Pe această cale voi stabili legea inversului pătratului, teoria potențialului și ecuațiile lui Laplace și Poisson ... Voi cerceta apoi anumite teoreme generale prin care Green, Gauss și Thomson au indicat condițiile soluțiilor problemelor de distribuție a electricității".*

Pe lîngă acestea sînt însușite rezultatele clasice stabilite și de alți predecesori: Coulomb, Oersted, Ampère, Faraday, Ohm, Weber, F. E. Neumann, Lenz, Helmholtz. În ceea ce privește teoriile lor, unele sînt analizate foarte pătrunzător ca de exemplu: *„Teoriile acțiunii la distanță"* (vol. II/846—866).

Sursele concepției lui Maxwell

Ideile inovatoare ale lui Maxwell au două surse importante: gîndirea exprimată de Faraday, cu intuiții fertile asupra modelării fenomenelor electromagnetice, și mecanica newtoniană, știință verificată, consolidată și dezvoltată de matematicieni celebri. Spre deosebire de modul cum predecesorii au formulat relațiile interacțiunilor dintre sarcini electrice, dintre poli magnetici și dintre curenți electrici, Maxwell atribuie un rol important mediului (substanța, inclusiv vacuumul) dintre aceste elemente. Concepția este inspirată de gîndirea lui Faraday, care *„nu consideră corpurile existînd fără nimic între ele decît distanța și că ar acționa unul asupra altuia potrivit unei funcții de această distanță. El concepe întreg spațiul ca un cîmp de forță, liniile de forță, în general curbate, și cele datorite fiecărui corp extinzîndu-se de la el în toate direcțiile, direcțiile lor fiind modificate de prezența altor corpuri ...*

Eu cred că el ar fi vrut să spună că întreg cîmpul spațiului este plin de linii de forță a căror dispoziție depinde de aceea a corpurilor în cîmp și că acțiunile mecanice și electrice ale fiecărui corp sînt determinate de liniile de forță care se termină la el" (vol. II/529).

Ca urmare a acestor idei Maxwell concepe: analogii între comportarea dielectricilor sub tensiune electrică și comportarea corpurilor deformabile sub tensiuni mecanice; existența curentului de deplasare, ceea ce are ca urmare că un circuit electric se închide totdeauna și că acest curent produce fenomene electromagnetice similar curentului de conducție; transmiterea acțiunilor electromagnetice în timp prin contiguitate, ceea ce a impus popularea mediului cu mărimi de cîmp, care nu sînt legate de sarcinile electrice și de surse magnetice.

Convins de posibilitățile largi ale științei mecanice inițiată de Newton, dezvoltată de remarcabili oameni de știință și consolidată prin aplicații, a construit teoria electromagnetismului pe baza dinamicii; preocuparea permanentă a lui Maxwell a fost de „reducerea electromagnetismului la o știință dinamică".

Avînd această concepție multe dintre demonstrațiile lui se bazează pe analogii mecanice. Însăși sinteza operei sale, formularea ecuațiilor generale ale electromagnetismului, se bazează pe teoria dinamicii, pe ecuațiile lui Lagrange și Hamilton. Motivul alegerii acestei căi era următorul *„La constituirea ideilor și termenilor oricărei științe, care, precum electricitatea, se referă la forțe și efectele lor, trebuie să avem permanent în minte ideile proprii științei fundamentale a dinamicii ..."*. Menționează, de asemenea, că *„limbajul dinamicii a fost considerabil extins prin dezvoltarea principiului conservării energiei"*, acțiune la care au participat și electricieni de seamă ca Helmholtz și W. Thomson.

Concepția lansată cu 125 de ani în urmă, în comunicarea *A Dynamical Theory of Electromagnetism*, a dominat gîndirea și opera lui Maxwell.

Enunțarea concepției electromagnetice a luminii

Calea științifică urmată l-a condus pe Maxwell la cea mai remarcabilă inovație: stabilirea prin calcul a posibilității producerii și transmiterii undelor electromagnetice, adăugînd încă un fenomen care stă la baza radiotehnicii. Ca primă aplicare a fost determinarea naturii electromagnetice a luminii.

* * *

Teoria electromagnetismului așa cum este expusă în prezent se deosebește de versiunea inițială dată de Maxwell, îndeosebi în ce privește motivarea științifică a unor deducții, în special prin renunțarea la metoda mecanicistă și structura fizico-matematică a relațiilor.

Cunoașterea formei originale este însă utilă deoarece contribuie la adîncirea bazelor noii științe, urmărind marele efort științific al lui Maxwell de riguroasă fundamentare și conformare cu realitatea sesizabilă prin experiență și, deoarece sînt evidențiate prin comparație, adăugările și noile interpretări, ceea ce arată cum a progresat teoria electromagnetismului în timp de peste 100 de ani.

Ing. Paul Cartianu

NOUTĂȚI

Din energetica mondială

ENERGETICA — FACTOR PRINCIPAL ÎN DEZVOLTAREA ECONOMIILOR NAȚIONALE ALE ȚĂRILOR ÎN CURS DE DEZVOLTARE

În octombrie 1987 la Marsilia (Franța) a avut loc un seminar științific în problemele planificării energetice, la care au participat 120 specialiști din 12 țări ale CEE și dintr-o serie de țări în curs de dezvoltare ca Indonezia, Tailanda, India, Iordania, din unele țări arabe etc. În cadrul dezbaterilor s-a subliniat necesitatea stringentă a rezolvării corespunzătoare a problemelor de planificare energetică, energetica fiind considerată ca unul din factorii principali în dezvoltarea economiilor naționale.

Problema principală a actualității în statele dezvoltate constă în gradul scăzut de ocupare a populației fapt care conduce la necesitatea internaționalizării activității economice și la modificări corespunzătoare în tehnologii și soluții tehnice, modernizări care au drept urmare înrăutățirea stării mediului ambiant. Modelele curate ecologice de obținere a energiei ar putea contribui în mod esențial la rezolvarea acestei probleme. Dar în țările în curs de dezvoltare lipsesc resursele financiare și capacitățile energetice necesare, fapt care frînează dezvoltarea industrială a acestor țări. Se consideră că probleme ale țărilor în curs de dezvoltare, ca datoria externă și dezvoltarea economică, pot fi rezolvate în mod corespunzător pe calea creării, în țările respective, a unei structuri energetice corespunzătoare.

(După: Referativnii jurnal, 22, Energhetika, nr. 8, 1988, poz. 8T30)

(54) **PARAPET PENTRU DIGURI**
(72) Autori: ing. Iulian Constantin
(22) Data înregistrării: 6.11.1979
(45) Data publicării: 30.03.1982
(11) Certificat de inovator nr. 78460 eliberat de Ministerul Energiei Electrice
(73) Titular: Institutul de Studii şi Proiectări Hidroenergetice, Bucureşti

Invenţia se referă la un parapet pentru diguri executat pentru reducerea efectelor produse de valurile apelor marine, a lacurilor naturale sau a celor de acumulare, cît şi de acelea ale bazinelor.

Sînt cunoscute profiluri pentru parapetele digurilor care au, în general, scopul de a reduce cît mai mult efectele produse asupra digurilor din punctul de vedere al rezistenţei în ansamblu, cît şi la contactul apei cu parapetul acestuia.

S-a observat că, dacă volumul de apă al valului ce vine în contact cu parapetul digului nu este coborît cît mai repede de pe profilul acestuia, valul următor poate suplimenta volumul de apă deja existent, mărind gradul de umplere a profilului curb, reducînd şi chiar anulînd, în acest caz, efectul de întoarcere în bazin a apei antrenate. Pentru a se obţine o diminuare a efectelor valurilor asupra parapetelor de diguri, s-au realizat profilurile acestora din arce de cerc, combinate cu arce de elipsă sau parabolă. Aceste tipuri de parapete prezintă dezavantajul că nu realizează o întoarcere a volumului de apă ce revine de pe profilul acestuia într-un timp cît mai scurt, deci nu contribuie la accelerarea maximă a apei în coborîrea ei gravitaţională de pe suprafaţa parapetului, ceea ce conduce la înălţimi mari ale parapetului pentru diguri.

Parapetul pentru diguri, conform prezentei invenţii, elimină dezavantajele arătate, prin aceea că, în scopul reducerii înălţimii digului, pentru un parapet al acestuia se utilizează o suprafaţă curbă, de formă cicloidală, pentru racordarea taluzului în punctul de tangenţă cu un sector de suprafaţă curbă cu rază constantă în punctul comun, linia taluzului fiind tangentă în punctul inferior al segmentului de suprafaţă curbă de formă cicloidală; celui superior îi corespunde punctul pentru o tangentă verticală.

În cele ce urmează se dă exemplu de realizare a invenţiei. În figura 1 se reprezintă o secţiune printr-un parapet pentru diguri în varianta de realizare, cînd taluzul are o înclinare de 1 :2,5.

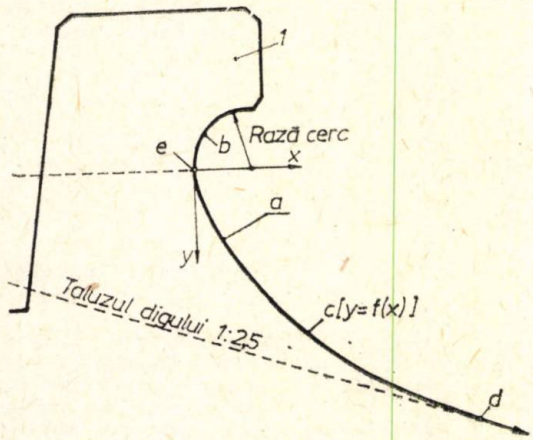


Fig. 1.

Un parapet 1 pentru diguri, are o suprafaţă curbă **a**, ce vine în contact cu valul, formată dintr-un arc de cerc **b**, la partea superioară formînd un gol ce obligă întoarcerea unei cantităţi de apă din valul ce atinge parapetul 1 şi un segment de curbă cicloidală **c** ce se racordează cu taluzul digului în punctul **d** de tangentă.

Apa acţionată de valuri, urcînd pe taluz, ajunge după trecere prin punctul de tangenţă **d** pe profilul curbei cicloidale **c** pînă în punctul **e**, de unde gravitaţional, coboară în timpul cel mai scurt din nou pe taluzul digului, eliberînd profilul curbei **c** cicloidale.

Aplicarea invenţiei parapet pentru diguri prezintă avantajul că poate fi plasat mai jos în calea valului deferlat, reducînd din înălţimea digului.

METODĂ DE REGLARE A PUTERII ELECTRICE ÎNTR-O INSTALAŢIE CU TURBINĂ DE ABUR PENTRU TERMOFICARE (ITT)

Invenţie propusă de colective de la Institutul Politehnic din Leningrad şi Institutul Politehnic Krasnoiarsk, nr. 1285163 U.R.S.S., cerere 18.02.1985, nr. 3856443/24.06., publicată în 1987, nr. 3, MKI, FOI, D17/20.

Se propune o metodă de reglare a puterii electrice într-o instalaţie cu turbină de abur pentru termoficare cu ajutorul reglării debitului aburului viu din turbină la menţinerea unei sarcini termice date şi a unui consum minim de abur în partea de joasă presiune, al reglării presiunii aburului în preîncălzitorul de reţea de la valorile minime la cele maxime permise prin baipasarea acestuia pe apa de reţea, al declanşării şi anclanşării preîncălzitoarelor de înaltă presiune pe partea de abur.

În scopul creşterii economicităţii instalaţiei cu preîncălzitor de vîrf, la micşorarea puterii electrice se declanşează preîncălzitoarele de înaltă presiune, se micşorează debitul de abur în turbină şi, totodată, se menţine valoarea minimă admisibilă a presiunii aburului în preîncălzitorul de reţea, pînă la atingerea limitelor tehnice în funcţionarea echipamentului instalaţiei; după aceea se ridică presiunea aburului în preîncălzitorul de reţea pînă la valoarea maximă admisibilă, iar la creşterea sarcinii electrice se micşorează presiunea aburului în preîncălzitorul de reţea pînă la valoarea minimă admisibilă, se măreşte debitul de abur în turbină pînă la valoarea care corespunde sarcinii termice date şi se anclanşează preîncălzitoarele regenerative.

În scopul creşterii puterii electrice peste cea nominală, se măreşte debitul de abur în turbină pînă la maximum, micşorînd totodată, simultan, sarcina termică a preîncălzitorului de vîrf; anclanşarea preîncălzitoarelor regenerative se face după trecerea perioadei de maxim a sarcinii electrice.

Cei interesaţi pot consulta colecţia naţională de brevete a OSIM.

(După: Referativnii jurnal, 22, Energhetika, volum general, nr. 8, 1988, poz. 8S40P)

OPORTUNITATEA FUNCȚIONĂRII CENTRALELOR NUCLEAROELECTRICE ÎN REGIM DE SARCINĂ VARIABILĂ

Realizarea programului de centrale nuclearoelectrice, intensificat după crizele energetice, a condus în unele țări la realizarea unor puteri importante în acest tip de centrale. În unele țări s-a ajuns chiar la situația ca puterea totală disponibilă în aceste centrale să fie superioară minimului de sarcină. Pentru aceste cazuri, soluția cunoscută constă în funcționarea centralelor nucleare cu sarcină constantă, surplusul de parte produsă fiind preluat de centrale hidroelectrice cu acumulare prin pompaj (CHEAP), care, fiind în regim de pompaj, se comportă ca niște consumatori.

Randamentul relativ scăzut al acestor CHEAP (pînă la 70 %) și costul lor relativ ridicat (aproape cît al unei CHE gravitaționale) a determinat unele țări cu o mare putere instalată în centrale nuclearoelectrice să caute să rezolve altfel această problemă.

Soluția rezultată în acest caz a constat în funcționarea centralelor nuclearoelectrice în regim de sarcină variabilă. Pentru aceasta, s-au elaborat analize foarte amănunțite de către utilizator și fabricant, pentru fiecare componentă în parte. În final, s-au convenit condițiile concrete în care centralele respective pot funcționa în regim de sarcină variabilă.

Concluziile acestor analize au format obiectul unor materiale de sinteză prezentate în unele lucrări ale Comitetului pentru Energie Electrică din cadrul CEE-ONU.

În cele ce urmează se prezintă principalele concluzii ale unui asemenea raport (document CEE-ONU EP/GE 3/R 85) elaborat pe baza datelor furnizate de trei țări, Franța, R.F.G. și Suedia.

1. Condiția de intrare în reglaj a centralelor nuclearoelectrice

În cele trei țări, s-au înregistrat următoarele ponderi ale puterii instalate în centralele nuclearoelectrice, în raport cu puterea totală instalată

	1980	1981	1983	1985	1986
Franța	14 %		32 %	43 %	
R.F.G.		24 %			
Suedia			24 %		29 %

În Franța, această necesitate a apărut la valoarea de 32 % a aceluiași raport, iar în Suedia, ceva mai rapid, pentru o valoare de 24—29 %.

2. Caracteristici necesare pentru reglaj

Variațiile de sarcină impuse mașinilor pot fi:

— în trepte, în cazul scăderii rapide a frecvenței;

— în pantă, la solicitarea prin apel telefonic de la dispecer;

— automat, cînd participă la reglajul frecvență—putere.

Performanțele necesare pentru reglaj depind în primul rînd de caracteristicile grupurilor nucleare (BWR sau PWR) și de modul lor de reglaj.

Puterea tranșelor BWR este modificată, modulînd debitul de recirculație a apei în reactor fără a afecta distribuția axială de flux, ceea ce permite variații de sarcină cu amplitudine de 30 % din puterea nominală.

Pentru modificarea puterii tranșelor PWR sînt posibile două moduri:

— modul A, pus la punct de Westinghouse, utilizează un grup de bare de comandă menținut în partea de sus a miezului reactorului pentru concentrația de bor, în scopul reducerii deformării axiale a fluxului; el este în funcțiune în Suedia pe șase unități PWR de cîte 500 MW, de fabricație franceză;

— modul B, care utilizează patru grupe de bare introduse secvențial, în funcție de puterea ce trebuie livrată și un al cincilea grup în zona de sus a miezului reactorului.

Pe baza acestor elemente s-au precizat condițiile de variație a puterii prezentate în tabelul 1.

În anul 1985 numărul de variații de sarcină pentru a urmări curba de sarcină a fost de 935 cu o viteză de 1—3,4 Pn/min. În R.F.G. nu a apărut încă această necesitate, dar diversele probe au demonstrat fezabilitatea acestui sistem la unitățile PWR. În Suedia, la etapa respectivă (1985), o tranșă BWR participa activ la urmărirea de durată a sarcinii.

3. Funcționări perturbate

Funcționarea acestor unități impune o limitare a duratei admisibile la dereglări ale frecvenței.

În Franța, modul B de reglaj permite în mod excepțional 1 oră în intervalul 47—48 Hz. Pentru frecvențe de pînă la 47,5 Hz, în R.F.G. se admite o durată de 10 min, iar în Suedia de 30 min.

Tabelul 1

Modul de variație	Franța	R.F.G.	Suedia
În trepte de putere			
— amplitudine (% din Pn)	±10	±10	±10
— plajă (%)	20—100	20—100	30
— interval între două trepte (min)	—	5	—
În pantă			
— amplitudine (% din Pn)	+70 ±20	±50	±30 30
— viteză de variație (%/min)	50 10	5	10 1
— plajă (%)	30—100	40—100	—
Automat — telereglaj			
— amplitudine (% din Pn)	±5	±5	—
— viteză (%/min)	1 (4 5 rapidă)	—	—
— plajă (%)	30—100		

Problema care s-a pus a fost de a se stabili momentul în care centralele nuclearoelectrice trebuie să intre în regim de sarcină variabilă. În mod evident, acest răspuns depinde și de situația în sistemul energetic respectiv și, în particular, de structura întregii puteri instalate în centralele electrice și, în special, de alura curbei de sarcină, respectiv de valoarea minimelor de sarcină.

În R.F.G. se estimează că această necesitate apare la o pondere de 35 % a puterii disponibile nucleare din puterea totală instalată.

4. Condiții specifice în România

Este de menționat că, în condițiile concrete din țara noastră, problema funcționării viitoarelor centrale nuclearoelectrice în regim de sarcină variabilă nu se va pune în următoarele cîteva decenii. Aceasta se datorește atît ponderii relativ reduse a centralelor nuclearoelectrice din totalul puterii instalate (10—20 %), cît și specificului curbei de sarcină. Existînd un mare grad de aplatisare, valorile de gol vor fi relativ ridicate, foarte apropiate de valorile de vîrf.

Dr. ing. George Manolescu — ISPE

O EXPERIENȚĂ INTERESANTĂ

O experiență interesantă se realizează într-un mic sat din India. Acest sat așezat departe de drumurile principale și de liniile electrice, în statul Gujerat, a devenit un exemplu pentru electrificarea rurală folosind surse neconvenționale.

Statul Gujerat din India are capitala omonimă și se găsește undeva la nordul Indiei, în bazinul hidraulic al Indusului, la poalele Himalaiei. Capitala Gujerat este așezată pe rîul Chenab, afluent al Indusului, în jurul paralelei 33 și meridianului 74.

La începutul anilor '80 s-a pus problema creșterii nivelului de civilizație într-o mică așezare, satul Khandia, care nu dispunea de fondurile necesare pentru a construi drumuri asfaltate, iar racordarea la sistemul electroenergetic era de-a dreptul prohibitivă, așezarea fiind constituită din circa 130 familii sărace de agricultori. Zona nu dispunea de irigații și nici nu exista vreo activitate economică în afară de cea corespunzătoare unei culturi agricole primitive; tineretul localnic nu avea nici un viitor.

În 1984, Agenția de Dezvoltare a Energiei în Gujerat (Gujerat Energy Development Agency) a propus introducerea unui complex de instalații pentru producere de energie ieftină, cu condiția ca localnicii să asigure întreținerea acestora. Efectuîndu-se o analiză la fața locului, s-a constatat că circa 85% din energia necesară satului era absorbită de pregătirea hranei și cele mai multe femei își petreceau cea mai mare parte din timpul lor pentru a aduna lemn în scopul folosirii acestuia la focul necesar bucătăriei. S-a mai remarcat că în acest sat se beneficia de o bună insolație, precum și de terenuri excedentare, care nu puteau fi folosite în alte scopuri. În sfîrșit, colectivitatea dispunea de un șeptel deloc neglijabil.

Raportul întocmit după această analiză a fost foarte promițător. Terenurile neutilizabile puteau fi plantate cu arbori cu creștere rapidă, care să furnizeze combustibil pentru gazogene. Șeptelul putea să producă prin dejecții o cantitate suficientă de biomasă pentru a alimenta o altă instalație de biogaz. În fine, soarele putea constitui tot anul o sursă de energie.

Cercetările fiind încheiate s-a trecut la proiectarea și realizarea a trei grupe de instalații:

— o serie de gazogene care funcționează cu lemnul arborilor plantați pe 12 ha de teren și care furnizează combustibilul necesar unei mici centrale electrice pentru a produce energia electrică pentru iluminarea străzilor, acționarea morilor de făină și a pompelor de apă;

— o instalație de producere a biogazului funcționînd cu produsele dejecțiilor animaliere, cu o capacitate de 85 m^3/zi gaz, pentru cuptoarele și sobele domestice;

— o serie de baterii de colectoare solare și de celule fotovoltaice pentru a se produce apă caldă și pentru refrigeratoare, precum și energie electrică pentru televizoare și aparate radio.

Khandia are în momentul de față energie electrică pentru extinderea activităților comerciale și agricole; irigația a fost realizată pe baza energiei electrice rezultate de la folosirea biomasei, care alimentează pompele de apă. Tineretul și-a găsit ocupații în aceste noi întreprinderi. Directorul general al GEDA declară că acest proiect a avut un cost total inferior celui corespunzător unui racord la rețeaua electrică. Alte 5 sate din Gujerat au fost identificate ca fiind susceptibile pentru echiparea lor cu sisteme integrate similare.

(După: Forum du Developpement, nr. 139, ian.—feb. 1989

TEHNOLOGIE COMPLEXĂ DE EVACUARE ȘI DEPOZITARE A CENUȘII ZBURĂTOARE ȘI ZGURII SUB FORMĂ DE SUSPENSII DENSE ÎN APĂ

În revista poloneză „*Zesz. nauk. Pśl. Energ.*" 1987, nr. 100, 171—184, Rokita și Kmiecik publică un articol în care este descrisă pe larg o nouă tehnologie de evacuare și depozitare a zgurilor și cenușilor de centrală, în formă de suspensii dense în apă și care, în condițiile unor restricții tot mai severe în ceea ce privește suprafețele ocupate de depozitele de zgură și cenușă, cantitățile de apă necesare, consumurile de energie electrică la pompaj și poluarea mediului înconjurător cu praf de cenușă și a apelor subterane, prezintă un deosebit interes și pentru țara noastră.

Cantitatea de cenușă în faza solidă, în amestec, este de 1—2,5 kg la un litru de apă. Un astfel de amestec poate fi transportat fără probleme prin conducte. În articol sînt prezentate pe larg proprietățile suspensiilor de cenușă cu apă, caracteristicile echipamentelor care asigură producerea de suspensii cu un indice volumetric constant al fazei solide. Sînt descrise perspectivele utilizării noii tehnologii în energetică.

(După: Referativnîi jurnal, 22, Energhetika, volum general, nr. 8/1988)

UTILIZAREA MASELOR PLASTICE PENTRU EVACUAREA GAZELOR ARSE DIN CAZANE

În publicația vest-germană „Gas Wärme Inf." 1988, 37, nr. 4, Ounk și Kobussen afirmă că la temperaturi scăzute ale gazelor arse, rezultate de la instalațiile de cazane, devine posibilă utilizarea maselor plastice pentru realizarea elementelor de traseu ale gazelor arse. S-au cercetat și în trecut posibilitățile de utilizare a polivinilului, denftoridului și ale polipropilenului la izolarea coșului de fum. În articol se propun metode de încercare la rezistență termică de durată a elementelor de construcție. Experiențele arată că este posibilă utilizarea la coșurile de fum a unei izolații din mase plastice, condensatul neavînd o influență importantă asupra rezistenței termice a straturilor subțiri de polipropilen.

(După: Referativnîi jurnal, 22, Energhetika, vol. general, nr. 9/1988, poz. 9S132)

PROTECȚIA PERSONALULUI CENTRALELOR ELECTRICE ÎMPOTRIVA EFECTELOR SUBSTANȚELOR NOCIVE DEGAJATE ÎN ATMOSFERĂ

Revista „*Power*" 1987, 131, nr. 12, 53 publică un articol sub titlul „*Protecting powerplant workers*" care arată că într-un număr mare de țări este legiferată protecția personalului muncitor dintr-o serie întreagă de ramuri industriale, printre care și energetica. În aceste scopuri este folosită atît aparatură mobilă, cît și staționară.

Este dat, în acest sens, un exemplu de spectrometru (S) cu greutatea de 13,6 kg, cu ajutorul căruia se determină prezența în atmosferă a substanțelor toxice, periculoase pentru sănătatea oamenilor. Aparatul are inclusă o pompă miniaturală pentru colectarea probelor de aer, iar comanda acestuia se realizează cu un microprocesor. În memoria spectrometrului sînt introduse date de calibrare pentru un număr de peste 100 gaze și degajări toxice (ca de exemplu vapori de metilmercaptan, fosgen, formaldehidă, bioxid de azot). Operatorul nu face decît să apese pe un buton pentru ca aparatul să indice prezența (cantitativă) sau lipsa componentului respectiv. Verificarea prezenței unei anumite grupe de substanțe se poate face în mod automat. La depășirea concentrației maxim admisibile aparatul produce un semnal de avarie. Pentru controlul poluării aerului cu substanțe chimice nocive se utilizează de asemenea tuburi dozimetrice pasive. Un astfel de tub este destinat unui singur gaz, ca de exemplu, oxid de carbon, hidrogen sulfurat, bioxid de sulf.

La CNE se acordă o atenție deosebită controlului radiațiilor. Dar la aceste obiective, ca și în industrie, se utilizează măști respiratorii în scopul evitării inhalării în organism a particulelor cu radiația „beta". Pentru a nu reduce productivitatea muncii măștile respiratorii pot fi scoase de pe fața operatorului dacă semnalizatorul de particule „beta" de buzunar nu semnalizează vreun pericol. Astfel de semnalizatoare sînt eficiente la radiații de pînă la 150 mber/h.

(După: Referativnîi jurnal, 22, Energhetika, vol. general, nr. 8/1988, poz. 8S15).

PRIMUL CONGRES EUROPEAN ÎN PROBLEMELE SELECTĂRII ŞI PREGĂTIRII PERSONALULUI PENTRU CENTRALELE ELECTRICE

În luna mai 1988 a avut loc la Hamburg primul Congres pe această temă, sub egida firmei Electricitäts — Werke AG din acest oraş, la care au participat delegaţi din 13 ţări ale Europei. Din dezbateri a reieşit că unica ieşire din situaţia care s-a creat, datorită concurenţei din industria constructoare de maşini şi a celei dintre firmele energetice, o constituie crearea unei activităţi de producţie calitativ noi, fapt datorită căruia apare ca stringentă necesitatea unui sistem calitativ nou de pregătire a personalului de exploatare din centralele electrice, al cărui nivel se află sub necesităţile reclamate de progresul tehnic al echipamentelor.

În mod deosebit, pentru anumite categorii de activităţi este necesară o pregătire specială a personalului care nu se poate realiza decît în centre specializate; pregătirea operatorilor pentru CNE reclamă, în plus, utilizarea electronicii şi a modelării tuturor situaţiilor posibile care pot apărea în exploatarea reactoarelor nucleare. Utilizarea electronicii exercită o influenţă cu totul deosebită asupra creşterii productivităţii muncii. La Congres s-a subliniat faptul că un rol cu totul deosebit, în condiţiile actuale, îl are motivaţia psihologică, atît pentru perfecţionarea profesională, cît şi pentru creşterea productivităţii muncii, motiv pentru care a fost elaborat un sistem de factori destinaţi să asigure realizarea acestui scop. Normele de muncă, în acest context trebuie să aibă la bază o fundamentare strict ştiinţifică. La congres, s-au prezentat, de asemenea cîteva modele naţionale ale formelor de organizare a muncii, printre care şi un model din Suedia, unde se aplică sistemul brigăzilor, în condiţiile unei independenţe relativ mari a subunităţilor funcţionale de producţie.

(După: Referativnîi jurnal, 22, Energhetika, 1988, nr. 10, poz. 10T64)

PERSPECTIVELE DEZVOLTĂRII APROVIZIONĂRII CU PETROL PE PLAN MONDIAL

Situaţia existentă privind rezervele şi extracţia ţiţeiului în ţările OPEC şi în celelalte ţări (din afara OPEC) se caracterizează prin instabilitate, determinată de faptul că, în timp ce ţările OPEC dispun de 83% din rezervele verificate de petrol, extracţia în aceste ţări se află la un nivel de circa 40% din volumul extracţiei mondiale.

Extracţia petrolului în bazinele din platformele continentale a atins o pondere de 25% din extracţia mondială. La nivelurile actuale de extracţie a petrolului rezervele se vor epuiza pentru: Kuweit — în 260 ani, UAE * — 150 ani; Arabia Saudită — în 110 ani. Totodată indicatorul corespunzător pentru Marea Britanie este de 7 ani, iar pentru S.U.A. — de 8 ani.

În privinţa evoluţiei extracţiei şi preţurilor la petrol s-au elaborat două scenarii, pînă în 1995.

În conformitate cu primul scenariu de prognoză, preţul la petrol se menţine la nivelul de 15 doll./baril pînă în 1990, după care va creşte lent pînă în 1995. Consumul mondial de petrol va creşte de la 46,4 milioane barili/zi în 1985 la 53 în 1995. Extracţia de petrol în Europa de Vest va scădea de la 4,3 la 3,2 mil. barili/zi, în timp ce cererea mondială de petrol extras din zăcămintele platformelor continentale va creşte de la 10,2 mil. barili/zi în 1985 la 23,2 în 1995.

După cel de-al doilea scenariu, preţurile la petrol vor creşte la 23 doll./baril pînă în 1990 şi pînă la 28 în 1995.

Cererea mondială de petrol la sfîrşitul perioadei analizate va fi de 49 mil. barili/zi, iar extracţia mondială din zăcămintele de pe platformele continentale va atinge în 1995 nivelul de 14,16 mil. barili/zi.

---

* United Arab Emirates (Emiratele Arabe Unite).

Notă: 1 baril de petrol echivalent ≈ 159 litri petrol echivalent (de 10000 kcal/kg respectiv 41,9 MJ/kg).

(După: Referativnîi jurnal, 22, Energhetika, nr. 11, 1988, poz. 11T83)

PERSPECTIVELE DEZVOLTĂRII ENERGETICII PÎNĂ ÎN ANUL 2030 — ÎN DEZBATEREA SPECIALIŞTILOR ENERGETICIENI

Sub acest titlu revista „Energiewirtschaft Tagesfragen" 1988, 38, publică un articol în care se dau informaţii cu privire la cea de-a XXV-a întîlnire internaţională de lucru a specialiştilor energeticieni, care a avut loc în aprilie 1988 la Universitatea din Köln (R.F.G.). După ce este expus pe scurt conţinutul referatelor, în articol se fac unele aprecieri. Astfel, se arată că la întîlnire s-a subliniat faptul că în industria R.F.G. consumul raţional de energie va permite să se micşoreze cu 50% cererea de purtători primari de energie în anul 2030, ceea ce se va realiza, de exemplu, pe seama dezvoltării în zona Europei centrale a helioenergeticii, care va permite economisirea a 15—20% din totalul purtătorilor primari de energie. Vor căpăta, de asemenea, o mare răspîndire de noi tehnologii energetice, ca, de exemălu, energetica hidrogenului.

Creşterea industrială a unor noi regiuni ale planetei, ca, de exemplu, Asia de Sud-Vest, unde în jurul anului 2000 se va afla în execuţie 25% din întreaga putere energetică a lumii la acea dată, va conduce la modificarea modului de formare a preţurilor la purtătorii de energie şi la schimbarea rutelor principale de transport al acestor purtători.

Un loc important au ocupat, în cadrul întîlnirii, probleme ca: protecţia mediului înconjurător, siguranţa exploatării energeticii, în special nucleare, deoarece s-a subliniat că, odată cu creşterea puterilor instalate ale obiectivelor energetice, va creşte în mod substanţial şi pericolul datorat avariilor potenţiale.

(După: Referativnîi jurnal, 22, Energhetika, vol. general nr. 10, 1988, poz. 1DT28)

ERATĂ

— in the issue of Energetica No. 1/1989, one should read:
— on page 23 instead of "thermal tubes" — "heat pipes"
— on page 23, in the fifth paragraph of the left column:

— flue gases temperature — input	°C	193
— burning air temperature — output	°C	39

Profesorul Constantin Dinculescu la 90 de ani

La 27 noiembrie 1988 profesorul emerit Constantin C. Dinculescu, membru corespondent al Academiei R.S.R., unul dintre fondatorii şcolii energetice din învăţământul superior românesc, a împlinit frumoasa vîrstă de 90 ani. Revista Energetica îşi face plăcuta datorie de a-i ura în mod sărbătoresc „La mulţi ani".

Profesorul Constantin Dinculescu s-a dăruit cu pasiune şi competenţă cerinţelor şi sarcinilor pe care le-a avut în toate etapele vieţii sale de inginer şi de cadru didactic superior şi a îmbinat permanent ponderea experienţei şi avîntul gîndirii creatoare.

Şi-a început profesiunea de inginer la întreprinderea „Electra" în centrala termoelectrică Cîmpina şi în reţelele electrice din petrol, unde a dobîndit o amplă experienţă de exploatare şi de montaj. Ulterior, a contribuit la ridicarea a numeroase centrale termoelectrice pe cărbune şi de grupuri diesel din anii de pionierat ai termoenergeticii româneşti dintre cele două războaie.

În faza de ample prefaceri şi dezvoltări din cadrul electrificării socialiste a ţării, a fost unul dintre stîlpii primului plan de electrificare, iar ca inginer şef şi apoi director al Institutului de Studii şi Proiectări Energetice a contribuit efectiv la traducerea în viaţă a noilor invenţii care întregesc sistemul energetic naţional. Munca sa asiduă, de dimineaţă pînă noaptea şi, dacă se putea, cîte ore are ziua şi meticulozitatea riguroasă pentru calitatea proiectelor au intrat în legendă.

Dar imaginea aspră şi principială a energeticianului a fost permanent dublată în acest suflet mare şi de o emoţionantă gingăşie şi grijă pentru toţi cei mici, în suferinţă şi cu nevoie de ajutor, fie ei colaboratori, copii sau păsărelele de pe fereastra mereu luminată a biroului său.

Profesorul Constantin Dinculescu a activat în continuare cu întreaga dăruire a competenţei sale în conducerea Ministerului Energiei Electrice, ca director general al exploatării, impunînd spiritul de disciplină, abnegaţie şi totală corectitudine care-l caracteriza.

În învăţămînt a parcurs toată ierarhia, ca profesor, şef de catedră, decan al facultăţii, rector al Institutului Politehnic Bucureşti şi adjunct al ministrului educaţiei şi învăţămîntului.

Peste patruzeci de generaţii de studenţi de la politehnicile din Bucureşti şi din Timişoara i-au audiat cursurile de centrale electrice, de exploatarea centralelor electrice şi de maşini electrice şi au rămas în suflet cu imaginea dascălului devotat.

De numele profesorului Constantin Dinculescu se leagă noul local al Institutului Politehnic Bucureşti şi ampla dotare a laboratoarelor acestuia, astăzi mîndrie a realizărilor ţării noastre în domeniul ştiinţei şi învăţămîntului. A avut viziunea unei noi calităţi a instruirii viitorilor ingineri prin deplasarea centrului de greutate a cunoaşterii tehnice de la sistemul predării preponderent teoretic, practicat în prima jumătate a secolului nostru, la cunoaşterea concretă, întărită aplicativ. Facultatea de Electrotehnică şi Energetică, pentru înfiinţarea şi dezvoltarea căreia a luptat dinamic, îi datorează modernele sale laboratoare de tip industrial, precum şi centrala electrică laborator.

Mulţi ani a ocupat, pe linie obştească, funcţia de preşedinte al Consiliului Naţional al Inginerilor şi Tehnicienilor şi a încercat să ridice pe un plan social superior responsabilitatea şi demnitatea prefesiei de inginer.

Pentru toate meritele sale a fost decorat cu numeroase ordine şi medalii, a fost ales membru corespondent al Academiei R.S.R. şi i s-a acordat titlul de profesor emerit.

După aproape trei sferturi de secol de muncă asiduă profesorul Constantin Dinculescu nu adepus încă armele căutătorului de nou şi ale inginerului. Cu ochii şi experienţa vîrstei se apleacă încă pe masa de lucru.

Îi urăm profesorului Constantin Dinculescu multă sănătate şi pe mai departe prezenţa sa îndrăgită în mijlocul celor pe care i-a format.

Colegiul de redacţie

СОДЕРЖАНИЕ

ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА И ТРУДА

ЕМИЛ ВАРВУ, ВИРЖИЛ ПРИОТЕАСА: Развитие Треста „Элекромонтаж" за 40 лет существования 145—149

МИХАЙ ВАЛЕРИУ, БАРБУ РОСОЮ: Применение вычислительной техники в строительно-монтажных работах, осуществляемых Трестом „Электромонтаж" 150—153

ВИРДЖИЛ КИРИЧЕСКУ: Опыт 30 лет осуществления кабельных работ на напряжении 110 кВ 154—156

ФЛОРИН КОМАН: Монтаж опор на переходах ЛЭП высокого напряжения через реки 157—160

ДУМИТРУ ЕНЕСКУ: Подстанция 750/400 кВ Исакча, исходный момент в деятельности Треста Электромонтаж Бухарест

ЭНЕРГЕТИКА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

ТЕОДОР МАГИАР, ИОАН ФЕЛЯ: К вопросу о параметрах и энергобалансе установок индукционного нагрева токами средней частоты 166—174

САВА ПОРНЯЛЭ: Одноступенчатые абсорбционные или ресорбционные трансформаторы тепла 174—181

УПРАВЛЕНИЕ И АВТОМАТИЗАЦИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

АЛЕКСАНДРУ ПОЕАТЭ, ВИОЛЕТА ЦЭРАНУ, РАДУ СИЛИОН, ОВИДИУ ДИАКОНУ, ГЕОРГЕ ДЖОРДЖЕСКУ, ВИРДЖИЛ АЛЕКСАНДРЕСКУ: Повышение степени наблюдаемости и контролируемости качества электроэнергии 182—189

ДАН ЗЛАТАНОВИЧ: Магнитные и тепловые напряжения в переднем зубе статора турбогенераторов с водородным охлаждением 190—195

ТЕПЛОЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

ГЕОРГЕ КИТИК: Давление в слое масла передних уплотнений турбогенераторов с водородным охлаждением 196—201

ВЛАДИМИР НИКУ: Увеличение мощности, отпускаемой в Национальную энергосистему электростанцией, работающей на углеводородном топливе 202—206

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СЕТИ

ИОН КОНЕЧИНИ, ГАБРИЕЛА БАНУ, ИОН КИУЦЭ: Резонансные перенапряжения, которые могут возникать в линиях высокого напряжения 207—212

ТЕОДОР СИРЕТЯНУ, ЕМИЛ ВИДЯ, ПЕТРЕ ТИЦА, ДАНИЕЛА КОНСТАНТИНОВИЧ, ЛАУРЕНЦИУ ГОЙЯ, АЛЕКСАНДРУ АЛБРЕХТ: О некоторых аспектах измерения и анализа вибраций проводов ЛЭП 212—219

ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ

РАДУ ПОПА, АУРЕЛИУ ЛЕКА, НИКОЛАЕ НИКУЛЕСКУ, ИОН УЦЭ: Математическая модель имитации гидравлических режимов работы взаимосвязанных систем теплофикации с горячей водой 220—227

ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ТЕРМИНОЛОГИЯ

ЛИВИУ ГРОЗА: Энергетическая терминология в международных организациях 228

ИСТОРИЯ ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ

ПАУЛ КАРТИАНУ: Труды Максвелла об электромагнетизме через 125 лет после первого опубликования его концепции 229—231

НОВОСТИ

ИЗОБРЕТЕНИЯ — НОВАТОРСТВО 232

ОТ ЕВРОПЕЙСКОЙ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ КОМИССИИ ООН 233

ИЗ МИРОВОЙ ЭНЕРГЕТИКИ 181, 231, 234—235

НОВЫЕ КНИГИ 189

ЛИЧНОСТИ 236

SOMMAIRE

ORGANISATION DE LA PRODUCTION ET DU TRAVAIL

EMIL BARBU, VIRGIL PRIOTEASA: L'évolution du Trust Electromontaj à travers les 40 ans d'activité 145—149

MIHAI VALERIU, BARBU ROSOIU: L'utilisation de la technique de calcul dans l'activité de constructions-montages énergétiques du Trust Electromontaj 150—153

VIRGIL CHIRICESCU: Trente ans d'expérience dans l'exécution des travaux pour les câbles de 110 kV 154—156

FLORIN COMAN: Le montage des poteaux a lignes électriques haute tension pour la traversée des fleuves 157—160

DUMITRU ENESCU: Le poste de 750/400 kV Isaccea moment de référence dans l'activité du Trust Electromontaj 161—165

L'ÉNERGIE DANS L'ENTERPRISE

TEODOR MAGHIAR, IOAN FELEA: Considérations concernant les paramètres et le bilan d'énergie des installations de chauffage inductive à l'aide des courant de fréquence moyenne 166—174

SAVA PORNEALĂ: Transformateurs de chaleur à absorption ou à résorption à un étage 174—181

CONDUITE ET AUTOMATION DES RÉSEAUX D'ÉNERGIE

ALEXANDRU POEATĂ, VIOLETA ŢĂRANU, RADU SILION, OVIDIU DIACONU, GHEORGHE GEORGESCU, VIRGIL ALEXANDRESCU: Contributions à l'amélioration des moyens de surveillance et de contrôle de la qualité de l'énergie électrique 182—189

DAN ZLATANOVICI: Sollicitations magnétiques et thermiques dans la dent frontale statorique des turboalternateurs refroidis par oxygène 190—195

CENTRALES THERMIQUES

GHEORGHE CHITIC: La pression de la couche d'huile des étanchements frontales des turboalternateurs refroidis par oxygène 196—201

VLADIMIR NICU: L'accroissement de la puissance fournie dans le Système Energétique National par une centrale électrique à hydrocarbures 202—206

RÉSEAUX ET POSTES ÉLECTRIQUES

ION CONECINI, GABRIELA BANU, ION CHIUȚĂ: Les surtensions par résonance qui se manifestent sur les lignes à haute tension 207—212

TEODOR SIRETEANU, EMIL VIDEA, PETRE TIȚA, DANIELA CONSTANTINOVICI, LAURENȚIU GOIA, ALEXANDRU ALBRECHT: Quelques aspects concernant la mesure et l'analyse des vibrations des conducteurs des lignes électriques aériennes 212—219

CHAUFAGE URBAIN ET INDUSTRIEL

RADU POPA, AURELIU LECA, NICOLAE NICULESCU, ION UȚĂ: Modèle mathématique pour la simulation des régimes hydrauliques de fonctionnement des systèmes interconnectés de cogénération à l'eau chaude 220—227

TERMINOLOGIE ENERGETIQUE

LIVIU GROZA: Sur la terminologie énergétique employée par les organisations internationales 228

HISTOIRE DE L'ÉLECTRIFICATION

PAUL CARTIANU: L'oeuvre de Maxwell concernant le domaine de l'électroénergétique après 125 ans depuis la première publication de sa conception 229—231

NOUVEAUTÉS

INVENTIONS—INNOVATIONS 232

DE LA PART DE LA COMMISSION ECONOMIQUE EUROPÉENNE — ONU 233

L'ENERGIE DANS LE MONDE 181, 231, 234—235

LIVRES NOUVEAUX 189

PERSONNALITÉS 236

INHALT

DIE ORANISIERUNG DER ARBEIT UND DER PRODUKTION

EMIL BARBU, VIRGIL PRIOTEASA: Die Entwicklung des Trusts Electromontaj in den 40 Tätigkeitsjahren 145—149

MIHAI VALERIU, BARBU ROSOIU: Anwendungen der Rechentechnik in der Bau- und Montagetätigkeit des Trusts Electromontaj 150—153

VIRGIL CHIRICESCU: Dreissig Jahre Erfahrung in der Verlegung der 110 kV-Kabeln 154—156

FLORIN COMAN: Die Montage der Flussüberquerungsmäster für Hochspannungsfreileitungen 157—160

DUMITRU ENESCU: Die 750/400 kV-Umspannanlage Isaccea — ein Anhaltspunkt in der Tätigkeit des Allgemeinen Unternehmens-Trusts Electromontaj Bukarest 161—165

DIE ENERGIEWIRTSCHAFT IN INDUSTRIEBETRIEBE

TEODOR MAGHIAR, IOAN FELEA: Betrachtungen zu den Kennwerten und der Energiebilanz der induktiven Heizungsanlagen durch Ströme mittlerer Frequenz 166—174

SAVA PORNEALĂ: Wärmetrafos mit Aufnahme und Resorption in einem Schritt 174—181

DIE LEITUNG UND REGELUNGSTECHNIK DER VERBUNDNETZE

ALEXANDRU POEATĂ, VIOLETA ȚĂRANU, RADU SILION, OVIDIU DIACONU, GHEORGHE GEORGESCU, VIRGIL ALEXANDRESCU: Beiträge zur Erhöhung der Betrachtungs- und Kontrollmöglichkeit der Elektroenergie-Qualität 182—189

DAN ZLATANOVICI: Magnetische und thermische Beanspruchungen in dem Schildzahn des Leitrades der Turbogeneratoren mit Wasserstoffkühlung 190—195

WÄRMEKRAFTWERKE

GHEORGHE CHITIC: Der Ölschichtdruck der Schildabdichtungen der Turbogeneratoren mit Wasserstoffkühlung 196—201

VLADIMIR NICU: Die Erhöhung der in das Nationalverbundnetz von einem kohlenwasserstoffbefeuerten Wärmekraftwerk eingespeisten Leistung 202—206

ELEKTRISCHE NETZE

ION CONECINI, GABRIELA BANU, ION CHIUȚĂ: Über die in Hochspannungsleitungen auftretenden Resonanzüberspannungen 207—212

TEODOR SIRETEANU, EMIL VIDEA, PETRE TIȚA, DANIELA CONSTANTINOVICI, LAURENȚIU GOIA, ALEXANDRU ALBRECHT: Einige Aspekte der Messung und Analyse der Vibrationen der Freileitungsleiter 212—219

WÄRMEVERSORGUNG

RADU POPA, AURELIU LECA, NICOLAE NICULESCU, ION UȚĂ: Mathematisches Modell zur Simulation der hydraulischen Betriebsregimen der Fernheizungsverbundsysteme mit warmem Wasser 220—227

TERMINOLOGIE IN DER ENERGIEWIRTSCHAFT

LIVIU GROZA: Über die in den internationalen Organisationen verwendete Energieterminologie 228

DIE GESCHICHTE DER ENERGIEWIRTSCHAFT

PAUL CARTIANU: Maxwells Schaffen auf dem Gebiet de Elektromagnetismus, 125 Jahre seit der ersten Veröffentlichung seines Konzeptes 229—231

NEUIGKEITEN

ERFINDUNGEN-NEUERUNGEN 232

VON DER EWK DER UNO FÜR EUROPA 233

DIE ENERGIEWIRTSCHAFT WELTWEIT 181, 231, 234—235

NEUE BÜCHER 189

DE PERSONIS 236

CONTENTS

LABOUR AND PRODUCTION ORGANIZING

EMIL BARBU, VIRGIL PRIOTEASA : The Development of the Trust Electromontaj During the 40 Years of Activity 145—149

MIHAI VALERIU, BARBU ROSOIU : Applying Computer Technique in the Power Erection and Mounting Activity of the Trust Electromontaj 150—153

VIRGIL CHIRICESCU : Thirty Years of Experience in 110 kV Cable Laying 154—156

FLORIN COMAN : Mounting Rivers Crossing Towers of High Voltage Overhead Lines 157—160

DUMITRU ENESCU : The 750/400 kV Substation Isaccea — Moment of Reference in the Activity of the General Contractors Trust Electromontaj Bucharest 161—165

ENERGY IN THE ENTERPRISES

TEODOR MAGHIAR, IOAN FELEA: Considerations Regarding Energy Balance and Parameters of Inductive Medium Frequency Currents Heating Installations 166—174

SAVA PORNEALĂ: Heat Transformers with Absorption or One-Step Resorption 174—181

ENERGY SYSTEMS CONTROL AND AUTOMATION

ALEXANDRU POEATĂ, VIOLETA ȚĂRANU, RADU SILION, OVIDIU DIACONU, GHEORGHE GEORGESCU, VIRGIL ALEXANDRESCU: Increasing the Electric Energy Quality Observability and Controllability 182—189

DAN ZLATANOVICI: Magnetic and Thermal Stresses of the Frontal Stator Teeth of Hydrogen Cooled Turbogenerators 190—195

THERMAL POWER PLANTS

GHEORGHE CHITIC: Oil Pressure in the Frontal Sealings of Hydrogen Cooled Turbogenerators 196—201

VLADIMIR NICU: The Power Increase of a Hydrocarbons Fuelled Power Plant Supplying the National Power Grid 202—206

ELECTRIC NETWORKS

ION CONECINI, GABRIELA BANU, ION CHIUȚĂ: Resonance Overvoltages Liable to Occur Within High Voltage Lines 207—212

TEODOR SIRETEANU, EMIL VIDEA, PETRE TIȚA, DANIELA CONSTANTINOVICI, LAURENȚIU GOIA, ALEXANDRU ALBRECHT: Vibrations Measurement and Analysis Within Overhead Lines Conductors 212—219

HEAT SUPPLY

RADU POPA, AURELIU LECA, NICOLAE NICULESCU, ION UȚĂ: Simulation of Hydraulic Operating Conditions of Interconnected Hot Water District Heating Systems 220—227

ENERGY TERMINOLOGY

LIVIU GROZA : Regarding the Energy Terminology Uesd by International organizations 228

THE HISTORY OF ENERGY

PAUL CARTIANU: Maxwell's Creation in the Field of Electromagnetism After 125 Years Since the First Issue of His Concept 229—231

NEWS

INVENTIONS—INNOVATIONS 232

FROM THE EEC-UNO FOR EUROPE 233

ENERGY WORLDWIDE 181, 231, 234—235

NEW BOOKS 189

DE PERSONIS 236

ORSZÁGOS MŰSZAKI INFORMÁCIÓS KÖZPONT ÉS KÖNYVTÁR 1983

COLEGIUL DE REDACȚIE

Președinte, redactor responsabil: **dr. ing. Eugeniu Pavel**
Redactori responsabili adjuncți: **dr. ing. Mihai G. M. Pop, dr. ing. Gheorghe Bălan, ing. Radu Opincaru**
Secretar de redacție: **dr. ing. Teodor Popa**
Gestiunea financiară: **ec. Pompiliu Silvășanu**

Orientări în energetică: **dr. ing. Mario Duma**
Energetica în unități economice: **ing. Ion Măiereanu, ing. Alexandru Florescu**
Dezvoltarea sistemelor energetice: **dr. ing. Nicolae Armeneoiu, dr. ing. George Manolescu**
Conducerea și automatica SE: **dr. ing. Victor Romert, dr. ing. Jean Constantineseu**
Centrale termoelectrice: **conf. dr. ing. Costin Moțoiu, ing. Romeo Zbarcea**
Centrale hidroelectrice: **dr. ing. Gheorghe Luca**
Centrale nuclearoelectrice: **ing. Adrian Georgescu, prof. dr. ing. Nicolae Dănilă, ing. Mircea Tarța**
Rețele electrice: **ing. Dinu Voinea, ing. Nicolae Georgian**
Alimentare cu căldură: **ing. Nicolae Nieulescu**
Surse și tehnologii noi: **ing. Constantin Popescu**
Tehnologii chimice în energetică. Poluare: **dr. chim. Maria Maftei**
Organizarea producției și a muncii: **ing. Miron Popescu**
Terminologia energetică: **dr. ing. Iosif Cserveny**
Istoria electrificării: **ing. Paul Cartianu**
Noutăți: **ing. Mihai Nistor, ing. Romulus Sfichi**
Centre universitare și industriale:
București: **conf. dr. ing. Alexandru Selischi**
Iași: **prof. dr. ing. Alexandru Poeată**
Timișoara: **prof. dr. ing. Viorel Negru**
Cluj-Napoca: **conf. dr. ing. Silviu Darie**

Acest număr a fost realizat cu ajutorul următorilor secretari ai grupelor de specialitate:
— **ing. Angela Perea** — Energetica în unități economice; — **dr. ing. Marius Pomirleanu** — Conducerea și automatica sistemului energetic; — **ing. Anton Roșu** — Centrale termoelectrice; — **dr. ing. Traian — G. Ionescu** — Rețele electrice; — **ing. Ion Uță** — Alimentare cu căldură

Revista „ENERGETICA" este editată și administrată de Institutul de Cercetări și Modernizări Energetice prin Oficiul de Informare-Documentare pentru Energetică.
Vasile Pleșca — șef OIDE, **Ana Maria Chivu** — redactor

Revista ENERGETICA — publicație lunară, reflectă preocupările spirituale și realizările materiale în domeniul energeticii. Funcționează în conformitate cu *ROF* aprobat cu Ordinul nr. 97/1987, publicat în numărul 4/87 al revistei. Elaboratorii de lucrări propuse pentru publicare sînt rugați să consulte *„Îndrumările pentru întocmirea și prezentarea lucrărilor propuse pentru a fi publicate în revista Energetica"*, *„Ghidul pentru avizarea lucrărilor propuse pentru a fi publicate în revista Energetica"* apărute în numărul 12/86, precum și *„Planul tematic al revistei Energetica pe anii 1988 — 1990"* publicat în nr. 5/1987 al revistei.

Instituțiile pot achita abonamentele în contul de virament nr. 30.11.8.01.01. — — BN R.S.R. fil. sector. 3, sau direct la redacție (ICEMENERG — OIDE, Bd. Energeticienilor, nr. 8, sect. 3, 79619, București). Costul unui abonament: 114 lei anual; costul unui exemplar: 12 lei.

41 401

ANNOUNCEMENTS FOR READERS ABROAD

- **The review "Energetica" can send on request from publications abroad reports translated in one of the worldwide spoken languages**
- **The review "Energetica" proposes a publication exchange with similar reviews and in relating fields**
- **The review "Energetica" provides and publishes or introduces books on energy received at the editorial office. Reviews and presentations of books sent on this purpose to the editorial office can be published as well**
- **The review "Energetica" publishes on request from authors abroad reports of energy of other materials: technical and scientific news, inventions-innovations, information about technical and scientific symposia, etc. written in one of the worldwide spoken languages**
- **Readers from abroad can subscribe through: ROMPRESFILATELIA — sectorul import-export, P.O. Box 12—201, telex 10376 prsfir, Calea Griviței nr. 64—66, București — România.**

Tiparul: Întreprinderea Poligrafică „Informația", București, str. Brezoianu 23—25 c — 1219

PROMETEU

ENERGOREPARAŢII

B-dul Mărăşeşti nr. 2, sectorul 5, Bucureşti.
Telefon: 23.26.40. Telex: 011635 - Cod poştal 774170

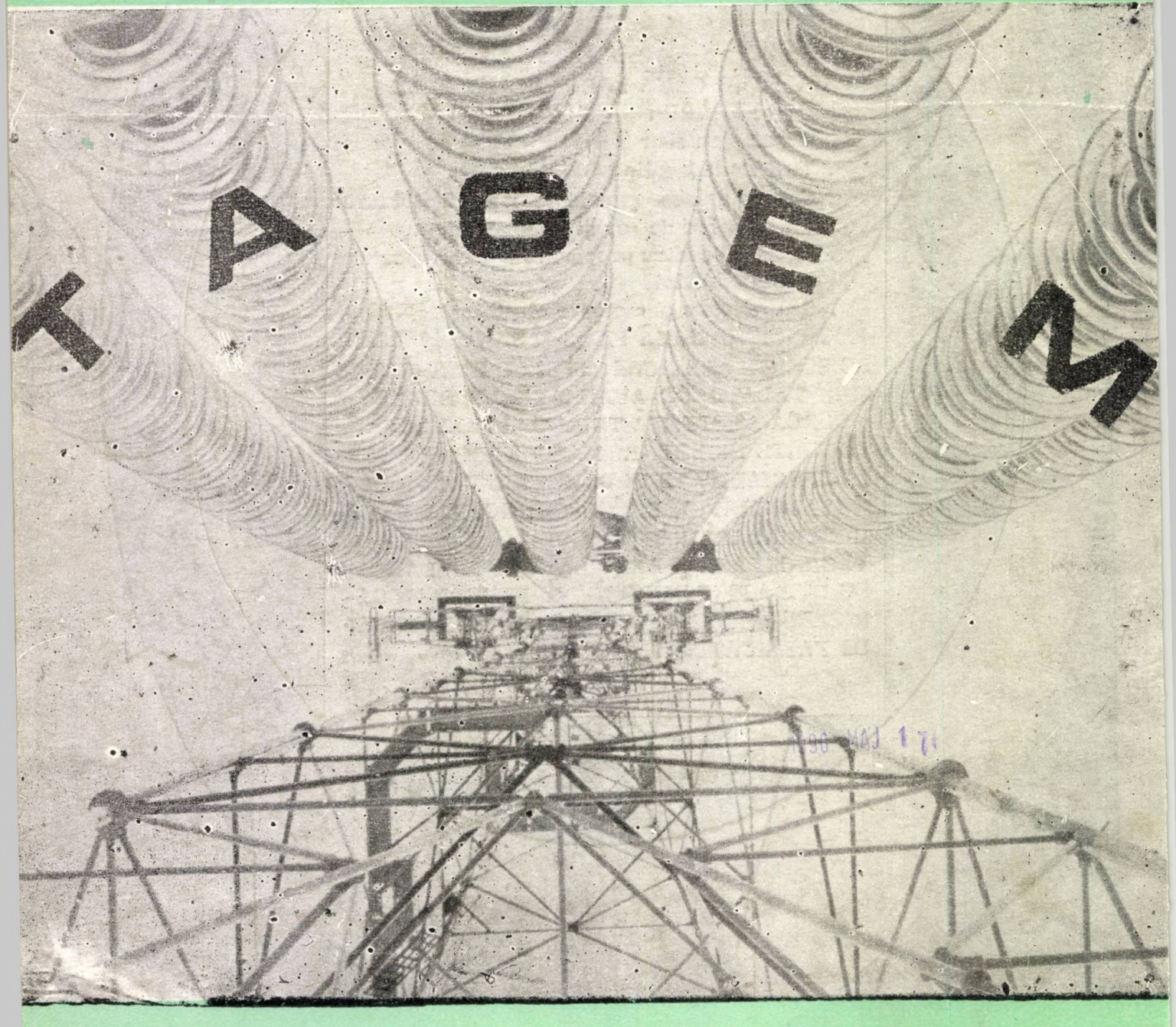
- EXECUTĂ O GAMĂ LARGĂ DE PIESE DE SCHIMB PENTRU :
  - Turbine cu abur
  - Turbine hidraulice
  - Cazane de abur şi schimbătoare de căldură
  - Ventilatoare de aer şi de gaze arse
  - Instalaţii pentru prepararea şi transportul combustibilului
  - Generatoare şi motoare electrice
- RECONDIŢIONEAZĂ PIESE ŞI SUBANSABLURI DE SCHIMB ALE AGREGATELOR ENERGETICE SI INSTALAŢIILOR AUXILIARE AFERENTE
- ACORDĂ ASISTENŢĂ TEHNICĂ SI EXECUTĂ DIFERITE ÎNCERCĂRI, MASURĂTORI ŞI LUCRĂRI DE SPECIALITATE ÎN DOMENIUL VIBRAŢIILOR METALOGRAFIC, FIZICO-CHIMIC. PRECUM ŞI MODERNIZĂRI ÎN SPECIFIC
- PROIECTEAZĂ ŞI EXECUTĂ O GAMĂ LARGĂ DE UTILAJE ŞI DISPOZITIVE PENTRU MECANIZAREA LUCRĂRILOR ÎN SECTOR, FLUXURI DE FABRICAŢIE. MACARALE TURN

T.A.G.-ELECTROMONTAJ

TRUSTUL ANTREPRIZA GENERALA "ELECTROMONTAJ"
Bucureşti, sect. 2, calea Moşilor nr. 158, telefon 16.63.30

TAGEM Electromontaj Bucureşti execută prin unităţile sale de construcţii :

- Linii electrice aeriene de foarte înaltă tensiune 220-750 kV
- Linii electrice aeriene de înaltă şi medie tensiune 6-110 kV
- Lucrări de joasă tensiune
- Linii electrice în cabluri subterane şi subfluviale de 1-110 kV
- Staţii electrice de transformare şi conexiuni 6-750 kV
- Posturi de transformare şi puncte de alimentare
- Microhidrocentrale şi centrale hidroelectrice de mică putere
- Demontări linii electrice aeriene 0,4-400 kV



La executarea instalaţiilor electrice TAGEM foloseşte tehnologii moderne de mare productivitate, care conduc la durate scurte de execuţie şi la un înalt nivel calitativ al lucrărilor.

E 2039

MW

6

REFERÁLVA
R 1990 -01- 09
Ete

Cuprins

CONDUCEREA ŞI AUTOMATICA SISTEMULUI ENERGETIC

MARIUS POMÂRLEANU, LIA BEJUSCU: **Calculul regimurilor staţionare ale sistemelor electroenergetice aflate în apropierea stărilor critice** *(cu prezentare în limba engleză)* 241—250

MIHAI MOGA, ADRIAN BUTA, DĂNUŢ DĂNEASA: **Determinarea pe baza datelor de catalog a parametrilor electrici ai circuitului echivalent al motorului de inducţie cu rotor în scurtcircuit** 250—258

CENTRALE TERMOELECTRICE

GEORGE CHERCEA, CRĂIŢA MANGU: **Corelaţia dintre încărcarea termică a brîului arzătoarelor şi temperatura flăcării la focarele cazanelor de abur funcţionînd cu praf de cărbune** 259—262

MAGDALENA MATEI, ION OPREA, NICOLAE MANEA, LUCIAN MIHĂESCU, GHEORGHE HAŞCĂU, NICOLAE PĂNOIU, CRISTINA DICU, FLORIN RAICU: **Cercetări pe stand asupra eroziunii produse de cenuşă asupra schimbătoarelor de căldură la cazane** 262—269

ALIMENTARE CU CĂLDURĂ

NICOLAE NICULESCU, ION UŢĂ, AURELIU LECA, RADU POPA: **Aplicaţii ale modelului matematic pentru simularea regimurilor hidraulice de funcţionare a sistemelor interconectate de termoficare cu apă caldă** *(cu prezentare în limba engleză)* 270—278

ISTORIA ELECTRIFICĂRII

CORNELIA IVAŞCU: **Din trecutul electrificării municipiului Timişoara** 279—284

NOUTĂŢI

DE PERSONIS: **Ioan D. Stăncescu** 285

energetica

VOLUMUL XXXVII

BUCUREŞTI

IUNIE 1989

trustul
ANTREPRIZĂ GENERALĂ
energomontaj

71223 BUCUREŞTI Calea Dorobanţilor nr.103-105
Telefon 797020 telex 11335 cont 3011907052402 BI-SMB

1949-1989

40 ANI

EXECUTĂ MONTAREA, PROBE ŞI ÎNCERCĂRI FUNCŢIONALE ŞI REPARAŢIILE CAPITALE ALE ECHIPAMENTELOR ŞI INSTALAŢIILOR ENERGETICE PENTRU CENTRALE ELECTRICE ŞI DIFERITE OBIECTIVE INDUSTRIALE

Echipamente şi instalaţii pentru centrale termoelectrice şi centrale electrice de termoficare
- cazane de abur de mare capacitate şi parametri înalţi de funcţionare ;
- turbine cu abur de puteri unitare pînă la 345 MW ;
- instalaţii de combustibil pentru cărbuni, păcură, gaze ;
- alte instalaţii termomecanice şi mecanice aferente centralelor termoelectrice.

Echipamente şi instalaţii pentru centrale hidroelectrice şi instalaţii hidrotehnice :
- turbine hidraulice de orice tip, pînă la puteri unitare de 176 MW ;
- echipamente şi alte instalaţii pentru centrale hidro şi termoelectrice, conducte forţate ;
- echipamente şi instalaţii pentru ecluze.

Echipamente şi instalaţii electrice pentru centrale nuclearoelectrice (partea clasică), termoelectrice şi hidroelectrice, staţii electrice şi instalaţii speciale :
- instalaţii de comutaţie primară pînă la tensiunea de 400 kV inclusiv ;
- instalaţii de servicii interne în centrale şi staţii electrice ;
- instalaţii de comutaţie secundară şi de automatizare.

ENERGETICA

ORGAN AL MINISTERULUI ENERGIEI ELECTRICE ŞI AL CONSILIULUI NAŢIONAL AL INGINERILOR ŞI TEHNICIENILOR DIN REPUBLICA SOCIALISTĂ ROMÂNIA

APARE SUB ÎNDRUMAREA CONSILIULUI ŞTIINŢIFIC AL INSTITUTULUI CENTRAL DE CERCETĂRI ENERGETICE

Anul 37 Nr. 6 Iunie 1989

Conducerea şi automatica sistemului energetic

Calculul regimurilor staţionare ale sistemelor electroenergetice aflate în apropierea stărilor critice

Dr. ing. MARIUS POMÂRLEANU, ing. LIA BEJUSCU*

MAGYAR TUDOMÁNYOS AKADÉMIA KÖZPONTI KÖNYVTÁRA

Descriptori: sisteme electroenergetice, regim staţionar, stări critice

Lucrarea tratează problema cunoaşterii regimurilor grele, adică a acelor regimuri staţionare posibile ale sistemului electroenergetic aflate în apropierea limitei de stabilitate statică.

Se prezintă o metodă pentru calculul unor astfel de regimuri, algoritmul general şi aplicaţii pe scheme reale.

The paper approaches the problem of difficult regimes knowledge, i.e. of those steady states possible for the power grid when close to the steady state boundary.

The method for the calculation of such regimes, the general algorithm and real schemes applications are presented.

Steady State Calculation of Power Grids Close to Critical States

(Condensed from the paper in Romanian)

This paper deals with a calculation method of "difficult" states, i.e. of steady states, when close to the static stability boundary. Such states can occur as a result of special oftenly post-damage situations, such as :

— disconnection of some important heavily loaded lines or of some auto-transformers ;

— occasional loads increase during regimes with already reduced static stability reserve ;

— decrease of reactive power sources by limitations at generators due to heating-ups, disconnection of compensators, etc.

In situations of this kind, the whole power grid continues to operate but the characteristic quantities of the steady state cannot be obtained but by calculations based on methods like : Seidel-Gauss, Newton-Raphson etc., since the iterative process is not convergent.

The main idea of the proposed method is to start the calculation for a normal regime, easily obtainable by classical methods and then a gradual transition, step by step, to the "difficult" required regime. This transition is acquired be small variations of the parameters, and every new regime is calculated non-iteratively by a direct method avoiding the use of the variables' derivatives, the cause of the divergency phenomenon.

In the calculation of successively changed steady states, the system's elements are modelled thus :

— each generating source of every power plant is replaced by an equivalent generator, without losses, with constant reactance ; in the calculation of successively worsened regimes, if the electromotor voltage is lower than the maximum admissible excitation value or if the internal angle is smaller than the maximum admissible value, the voltage control is modelled by the controller offset coefficient ; the active generated power is constant ;

— complex loads are replaced by equivalent ones with steady state characteristics of the shape :

$$P = \text{ct}, \qquad Q = \text{ct}$$

— lines and autotransformers are modelled by quadrupoles π.

The calculation method means the working out of an equations system whose solutions should enable the determination as well as correction of the regime during every new step until the intended regime is reached.

The algorithm obtained was used as basis for a computer programme written in FORTRAN IV. Its use and testing on real schemes gave good results.

The paper and its annexes contain a detailed presentation of the computation method with all necessar relations as well as its use on a test scheme with input data and results obtained on a computer type FELIX C 512.

* Dr. ing. Marius Pomârleanu, ing. Lia Bejuscu — Institutul de Cercetări şi Modernizări Energetice, Bucureşti

Introducere

Sînt menţionate frecvent în analizele de siguranţă a funcţionării sistemelor electroenergetice regimuri „grele", regimuri cu circulaţii mari de putere pe liniile de transport sau cu niveluri coborîte de tensiune, cel mai adesea regimuri postavarie, datorate unor condiţii cu totul speciale, cum ar fi :

— deconectarea unor linii importante puternic încărcate sau a unor autotransformatoare ;

— creşterea ocazională a sarcinilor în regimuri cu rezervă de stabilitate statică deja redusă ;

— reducerea surselor de putere reactivă prin limitări la generatoare datorită încălzirilor, deconectarea unor compensatoare etc.

În astfel de situaţii există regimuri staţionare (în care ansamblul sistemului funcţionează), dar mărimile lor caracteristice nu se pot obţine prin calcul datorită procesului iterativ propriu metodelor de calcul utilizate (Seidel-Gauss, Newton-Raphson etc. [1]).

Se pune problema găsirii unei căi de calcul care să asigure totuşi obţinerea mărimilor nodale şi a circulaţiilor de putere pentru aceste regimuri imposibil de evaluat cu metode clasice.

Ideea de bază în metoda propusă constă în pornirea cu un regim normal, uşor de calculat cu metodele clasice şi apoi trecerea treptată, din aproape în aproape, spre regimul dorit. Deoarece paşii de trecere spre regimul greu se fac prin variaţii mici ale parametrilor, calculul fiecărui nou regim se face neiterativ, prin linearizări admise.

Datorită variaţiilor mici ale variabilelor, se evită calculele cu metodele de tip Newton-Raphson care utilizează derivatele variabilelor, cauza fenomenelor de „divergenţă".

1. Privire critică asupra ipotezelor utilizate la calculul regimurilor staţionare prin metode clasice

Calculul regimurilor staţionare constă în determinarea tensiunilor nodurilor şi a circulaţiilor de puteri pe laturi în anumite condiţii impuse unor mărimi asociate nodurilor reţelei, după cum urmează :

— în nodurile de tip P, V (de tensiune reglată) se cunosc modulul tensiunii şi puterea activă, puterea reactivă variind între limitele Q_{min}, Q_{max} ;

— în nodurile de tip P, Q (consumator) se cunosc puterile activă şi reactivă ;

— în nodul de echilibru se cunosc modulul şi argumentul tensiunii.

Modelul matematic al regimului permanent conduce la un sistem de $2\ (N-1)^*$ ecuaţii algebrice nelineare care se rezolvă printr-o metodă numerică iterativă, respectîndu-se restricţiile date de condiţiile arătate mai sus.

Ipotezele admise implică o serie de discuţii.

Astfel, modul de reprezentare a nodului de balans şi referinţă cu considerarea puterilor active şi reactive libere este justificat ca o necesitate reală pentru asigurarea unei soluţii a calculului dorit. În ceea ce priveşte fixarea modulului tensiunii aceasta nu reprezintă o ipoteză realistă, deoarece de exemplu, odată cu înrăutăţirea regimului de funcţionare scade şi tensiunea din nodul de referinţă. De aceea, într-o abordare mai corectă metoda de calcul trebuie să considere nodul de echilibru ca referinţă pentru unghiuri, nivelul tensiunii variind cu regimul.

Nodurile de tip generator (P, V), reprezentate printr-o putere activă constantă şi printr-o tensiune constantă cît timp puterea reactivă se află între limitele admisibile, nu au cea mai corectă tratare.

Se ştie că limitele puterilor reactive admisibile ale unui generator nu sînt două valori extremale, ci o curbă limită pentru o anumită tensiune de funcţionare, aşa cum se poate vedea în figura 1. Tensiunea nu poate fi considerată nici ea constantă, deoarece fiecare generator are un reglaj de tensiune care nu este astatic, ci are un anumit statism.

Din aceste motive, cea mai corectă reprezentare a nodurilor generatoare este sub forma unor tensiuni electromotoare în spatele unor reactanţe echivalente, tensiuni care să se modifice prin acţiunea reglajului de tensiune atît timp cît curentul rotoric este mai mic decît valoarea maximă admisibilă (curba limită AB din fig. 1) sau cît unghiul dintre t.e.m. echivalentă şi tensiunea de la borne este mai mic decît o valoare maximă (dată de curba CD din fig. 1). Evident, condiţia puterii active constante se menţine.

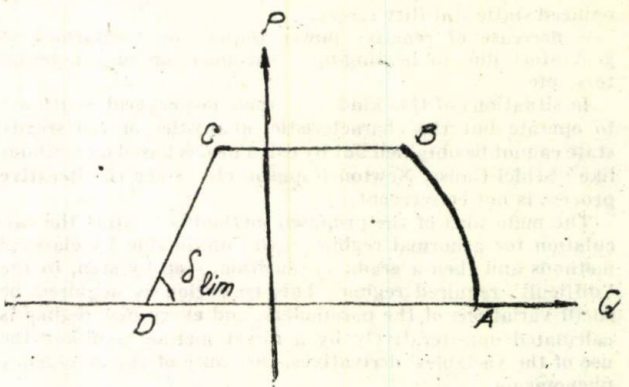


Fig. 1

În ceea ce priveşte nodurile de tip consumator (P, Q), atît timp cît nu se dispune de informaţii privind modificarea puterilor cu tensiunea, este bine să se admită caracteristici de forma $P = \text{ct.}$, $Q = \text{ct.}$

N — numărul de noduri ale reţelei studiate

2. Principiile de bază ale algoritmului de calcul

Așa cum s-a arătat, ideea de bază în metoda propusă constă în pornirea cu un regim normal și trecerea treptată, din aproape în aproape spre regimul dorit. Pentru evaluarea variabilelor de stare ale fiecărui regim intermediar s-a ales o metodă de linearizări succesive [2], deoarece :

— aceasta permite aplicarea unei metode de rezolvare directă, eliminînd dificultățile privind convergența soluțiilor în cazul calculelor iterative de rezolvare a unui model neliniar pentru regimuri apropiate de limita de stabilitate ;

— prin modificarea regimului în trepte de amplitudine mică se realizează o bună precizie în determinarea regimului înrăutățit ;

— soluțiile obținute prin rezolvarea modelului linear descriu în mod curent o stare posibilă a sistemului cu parametrii înrăutățiți față de starea precedentă ; erorile afectează numai valorile alese pentru parametrii impuși, dar cumularea acestor erori este evitată prin corectarea lor la fiecare pas de înrăutățire ; regimul nou obținut poate să prezinte unele mici abateri de la regimul dorit, dar valorile nodale sînt mărimi impuse arbitrar de noi, neștiindu-se valorile nodale exacte, astfel că micile aproximații ce eventual s-ar obține nu reprezintă un neajuns.

Modificările de regim sau de structură care se pot simula sînt următoarele :

— creșterea (descreșterea) puterilor active sau reactive consumate sau generate în toate nodurile sau în anumite noduri ale sistemului ;

— deconectarea unor linii ;

— dezexcitarea unor generatoare pentru reducerea nivelului general de tensiuni etc.

Pentru a asigura o coordonare simplă a calculului se alege un nod „pilot" pentru care se precizează valoarea treptei de modificare a parametrului urmărit pe pas de înrăutățire, precum și valoarea lui finală pînă la care vor fi continuate calculele.

Pentru restul nodurilor se definesc „coeficienți de participare" care reprezintă o cotă-parte a perturbației aplicate în nodul „pilot".

Pentru deconectarea unei linii procedura constă în suprimarea ei, introducerea în nodurile adiacente a unor injecții corespunzătoare circulației inițiale și anularea lor treptată.

În calculul regimurilor staționare succesiv modificate s-a folosit un model al sistemului bazat pe următoarele ipoteze simplificatoare, motivate și de observațiile de la începutul paragrafului :

— sursele generatoare din fiecare centrală se înlocuiesc prin cîte un generator echivalent, fără pierderi, cu reactanță constantă ; în calculul regimurilor succesiv înrăutățite, în condițiile în care t.e.m. este inferioară valorii corespunzătoare excitației maxime admisibile, sau unghiul intern este mai mic decît valoarea maximă admisă, reglajul tensiunii este modelat prin statismul regulatorului ; puterea activă generată este constantă ;

— sarcinile complexe se înlocuiesc cu sarcini echivalente, cu caracteristici statice de forma :

$$P = \text{ct.},\quad Q = \text{ct.} ;$$

— liniile și autotransformatoarele se modelează prin cuadripoli π.

Pentru a asigura o rezolvare corectă a problemei și în domeniul variațiilor mari ale parametrilor de regim (în apropierea stărilor limită), amplitudinea perturbației la fiecare pas de înrăutățire se modifică în funcție de valoarea unui criteriu special definit de determinantul (Δ) al sistemului de ecuații prezentat în anexă.

Cum acest criteriu tinde rapid către zero în apropierea regimului critic, se realizează dezideratul de a micșora domeniul de variație a parametrilor și deci erorile de linearizare pe măsura apropierii de limita de stabilitate [2].

3. Prezentarea metodei de calcul

Lista de notații :

i	— un nod oarecare al sistemului ;
r	— nodul pilot în care se aplică perturbația, ales de operator ;
k	— nodurile din sistem în care se introduce restul perturbațiilor de putere activă, reactivă etc ;
$\underline{X}_{\mu k}$	— factori de preluare (cota-parte a perturbației din valoarea celei din nodul pilot) ;
nodul 1 —	— nodul de referință și de echilibru al sistemului complex studiat ;
$\underline{S}_{gi} = P_{gi} + jQ_{gi}$	— puterea aparentă, activă și reactivă generată în nodul i ;
$\underline{S}_{ci} = P_{ci} + \mathrm{j}Q_{ci}$	— puterea aparentă, activă și reactivă consumată în nodul i ;
$\underline{U}_i = U'_i + \mathrm{j}U''_i$	— tensiunea nodului i ;
$\underline{E}_{gi} = E'_{gi} + \mathrm{j}E''_{gi}$	— t.e.m. în spatele reactanței echivalente a generatorului din nodul i ;

$\underline{I}_{gi} = I'_{gi} + jI''_{gi}$ — curentul produs de generatorul din nodul i;

$\underline{I}_{ci} = I'_{ci} + jI''_{ci}$ — curentul absorbit de consumatorul din nodul i;

$\underline{I}_i = I'_i + jI''_i$ — curentul total din nodul i;

X_{gi} — reactanța echivalentă a generatorului din nodul i;

C_i — coeficient de statism al reglajului tensiunii generatorului din nodul i;

$\underline{Y}_{ij} = G_{ij} - jB_{ij}$ — admitanța laturii ij.

Într-un nod complex i care se reprezintă ca în figura 2 sînt satisfăcute următoarele relații:

$$\underline{I}_i = \underline{I}_{gi} - \underline{I}_{ci} = \sum_j \underline{Y}_{ij}(\underline{U}_i - \underline{U}_j) \qquad (1)$$

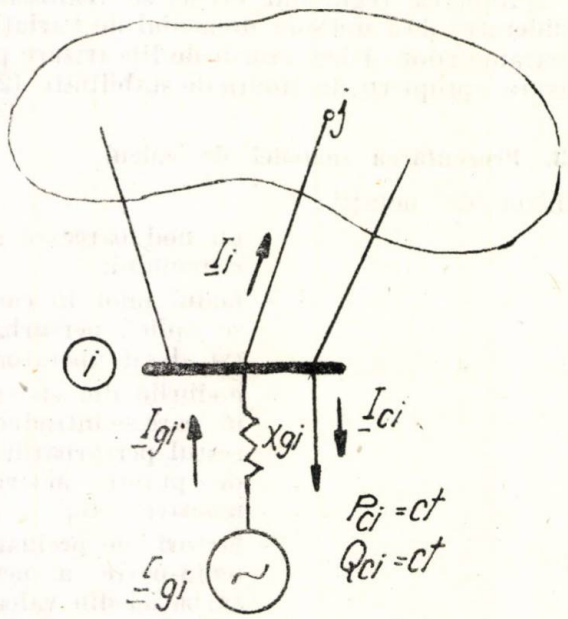


Fig. 2

care se pot scrie dezvoltat, pe componente, astfel:

$$I'_i = I'_{gi} - I'_{ci} = G_{ii}U'_i + B_{ii}U''_i - \sum_j (G_{ij}U'_j + B_{ij}U''_j) \qquad (1')$$

$$I''_i = I''_{gi} - I''_{ci} = G_{ii}U'_i - B_{ii}U''_i - \sum_j (B_{ij}U'_j - G_{ij}U''_j)^* \qquad (1'')$$

Se pornește de la ecuațiile de bază care leagă mărimile caracteristice ale generatorului echivalent și ale consumatorului din nodul i:

$$P_{gi} = U'_i I'_{gi} + U''_i I''_{gi} \qquad (2)$$

$$E_{gi} = \sqrt{(U'_i - X_{gi}I''_{gi})^2 + (U''_i + X_{gi}I'_{gi})^2} \qquad (3)$$

$$P_{ci} = U'_i I'_{ci} + U''_i I''_{ci} \qquad (4)$$

$$Q_{ci} = U''_i I'_{ci} - U'_i I''_{ci} \qquad (5)$$

$$U_i^2 = U_i'^2 + U_i''^2 \qquad (6)$$

$$\Delta E_{gi} = -C_i \Delta U_i \qquad (7)$$

Se admite că într-un nod r al sistemului se introduce o perturbație oarecare (δP_{gr}, δP_{cr}, δQ_{cr} sau δE_{gr} care se traduce sub forma unor perturbații de curent $\delta I'_r$ și $\delta I''_r$). Sistemul de ecuații (2) — (7) scris sub formă de abateri, se prezintă astfel pentru nodul r:

$$\Delta P_{gr} + \delta P_{gr} = U'_r \Delta I'_{gr} + U''_r \Delta I''_{gr} + I'_{gr}\Delta U'_r + I''_{gr}\Delta U''_r \qquad (2')$$

$$E_{gr}(\Delta E_{gr} + \delta E_{gr}) = (U''_r + X_{gr}I'_{gr})X_{gr}\Delta I'_{gr} - (U'_r - X_{gr}I''_{gr}) \cdot X_{gr}I''_{gr} + (U'_r - X_{gr}I''_{gr})\Delta U'_r + (U'_r + X_{gr}I'_{gr})\Delta U''_r \qquad (3')$$

$$\Delta P_{cr} + \delta P_{cr} = U'_r \Delta I'_{cr} + U''_r \Delta I''_{cr} + I'_{cr}\Delta U'_r + I''_{cr}\Delta U''_r \qquad (4')$$

$$\Delta Q_{cr} + \delta Q_{cr} = U''_r \Delta I'_{cr} - U'_r \Delta I''_{cr} - I''_{cr}\Delta U'_r + I'_{cr}\Delta U''_r \qquad (5')$$

$$U_r \Delta U_r = U'_r \Delta U'_r + U''_r \Delta U''_r \qquad (6')$$

$$\Delta E_{gr} = -C_r \Delta U_r \qquad (7')$$

iar pentru sistemul (1') — (1'') astfel:

$$\Delta I'_{gr} - \Delta I'_{cr} = G_{rr}\Delta U'_r + B_{rr}\Delta U''_r - \sum_j (G_{rj}\Delta U'_j + B_{rj}\Delta U''_j) \qquad (8)$$

$$\Delta I''_{gr} - \Delta I''_{cr} = -B_{rr}\Delta U'_r + G_{rr}\Delta U''_r - \sum_j (-B_{rj}\Delta U'_j + G_{rj}\Delta U''_j) \qquad (9)$$

Rezolvînd sistemul de ecuații (2') — (7') în care se ține cont de ipotezele inițiale: $P_g =$ = ct., P_c = ct, Q_c = ct, adică $\Delta P_{gr} = 0$, $\Delta P_{cr} = 0$, $\Delta Q_{cr} = 0$, în raport cu $\Delta I'_{gr}$,

* Se notează cu ' și '' părțile reale și imaginare ale mărimilor respective raportate la un sistem de axe de referință unic.

$\Delta I''_{gr}$, $\Delta I'_{cr}$, $\Delta I''_{cr}$ și înlocuind aceste valori în (8) — (9), se obțin următoarele relații :

$$\delta I'_r = \frac{E'_{gr}}{E'_{gr}U'_r + E''_{gr}U''_r}\delta P_{gr} + \frac{E_{gr}U''_r}{(E'_{gr}U'_r + E''_{gr}U''_r)X_{gr}}\delta E_{gr} - \frac{U'_r}{U_r^2}\delta P_{cr} - \frac{U''_r}{U_r^2}\delta Q_{cr} = L_r\Delta U'_r + M_r\Delta U''_r - \sum_j (G_{rj}\Delta U'_j + B_{rj}\Delta U''_j) \quad (10)$$

$$\delta I''_r = \frac{E''_{gr}}{E'_{gr}U'_r + E''_{gr}U''_r}\delta P_{gr} - \frac{E_{gr}U'_r}{(E'_{gr}U'_r + E''_{gr}U''_r)X_{gr}}\delta E_{gr} - \frac{U''_r}{U_r^2}\delta P_{cr} + \frac{U'_r}{U_r^2}\delta Q_{cr} = N_r\Delta U'_r + O_r\Delta U''_r - \sum_j (-B_{rj}\Delta U'_j - G_{rj}\Delta U''_j) \quad (11)$$

în care coeficienții L, M, N, O au expresiile (1) din anexă.

Datorită acestor perturbații, regimul sistemului complex se schimbă, tensiunile din noduri modificîndu-se cu mărimile ΔU_i. Variațiile de tensiune $\Delta U'_i$ $\Delta U''_i$ din fiecare nod, datorate acestor perturbații, se pot determina prin rezolvarea sistemului linear de ecuații de mai jos, în care se cunosc vectorul curenților de perturbație $[\delta\ I]$ (avînd componente diferite de zero doar în nodurile perturbate) și matricea de legături $[Y_{modif.}]$

$$[\delta I] = [Y_{modif.}]\ [\Delta U]. \quad (12)$$

Matricea $[Y_{modif.}]$ are toți termenii nediagonali constanți și identici cu termenii nediagonali ai matricei de admitanțe nodale $[Y]$, folosită

Tabelul 1

Mărimile nodale în regimul normal calculat pentru schema din figura 4

Nr. nod	Denumire nod	U [kV]	θ [grad]	P_c [MW]	Q_c [Mvar]	P_g [MW]	Q_g [Mvar]
1	I	242	0 ·	296 ·	203 ·	755 ·4	479 ·6
2	II	231 ·64	·26	75 ·	33 ·		
3	III	404 ·16	— 1 ·39				
4	IV	238 ·88	3 ·66	286 ·	148 ·		
5	V	229 ·35	— 4 ·96	178 ·	99 ·		
6	VI	230 ·77	— 7 ·94	156 ·	23 ·		
7	VII	414 ·52	— 2 ·78				
8	VIII	240 ·82	— ·72	139 ·	64 ·		
9	IX	223 ·01	—17 ·63	94 ·	37 ·		
10	X	414 ·29	— 1 ·26				
11	XI	235 ·4	— 1 ·96	447 ·	228 ·		
12	XII	215 ·99	— 8 ·32	150 ·	78 ·		
13	XIII	372 ·94	—21 ·35				
14	XIV	191 ·79	—24 ·66	250 ·	142 ·		
15	XV	212 ·42	—30 ·89	299 ·	106 ·		
16	XVI	237 ·13	—26 ·35	124 ·	69 ·		
17	XVII	229 ·39	—26 ·89	216 ·5	32 ·8		
18	XVIII	383 ·25	—25 ·35	500 ·			
19	XIX	415 ·45	— 4 ·81				
20	XX	227 ·83	— 2 ·07	264 ·	80 ·2		
21	XXI	408 ·12	2 ·07	—50 ·			
22	XXII	240 ·	5 ·29	92 ·	145 ·2	790 ·	126 ·8
23	XXIII	242 ·	1 ·79	126 ·	67 ·	360 ·	181 ·3
24	XXIV	242 ·	5 ·08	133 ·	158 ·	840 ·	329 ·
25	XXV	242 ·	— 1 ·29	182 ·	184 ·	666 ·	304 ·7
26	XXVI	240 ·17	3 ·05	190 ·	124 ·	223 ·	100 ·
27	XXVII	242 ·	—24 ·95	92 ·	75 ·	179 ·	140 ·4
28	XXVIII	242 ·	—22 ·75	115 ·	93 ·	185 ·	60 ·7
29	XXIX	242 ·	—24 ·42	361 ·	186 ·	590 ·	317 ·
30	XXX	240 ·79	—26 ·96	248 ·	89 ·	150 ·	98 ·
31	XXXI	240 ·	—26 ·94	70 ·	6 ·6	79 ·	88 ·4
32	XXXII	190 ·17	—23 ·21	387 ·4	218 ·9	386 ·	42 ·
33	XXXIII	373 ·15	—19 ·73	302 ·	133 ·	122 ·	50 ·
34	XXXIV	240 ·	— 9 ·02	121 ·	86 ·	188 ·	50 ·1
35	XXXV	242 ·	—10 ·55		20 ·	160 ·	164 ·6
36	XXXVI	241 ·	1 ·66	6 ·	25 ·	165 ·	—10 ·3
37	XXXVII	208 ·61	—23 ·96	510 ·	345 ·	603 ·	499 ·9

obișnuit în studiile de regimuri, iar cei diagonali, care nu mai sînt G_{ii} și B_{ii} se recalculează la fiecare alt regim cu relațiile (1) din anexă.

În afară de aceasta, datorită faptului că nodul 1 este nod de referință și de echilibru, mărimile U_1'' și $\Delta U_1''$ sînt întotdeauna zero, iar puterea activă generată în acest nod este liberă; aceasta impune restructurarea ecuațiilor corespunzătoare nodului 1 (vezi anexa, pct. b).

După rezolvarea sistemului de ecuații (12) se pot calcula noile tensiuni din noduri:

$$\underline{U}_{i\,\text{nou}} = \underline{U}_{i\,\text{vechi}} + \Delta\underline{U}_i. \qquad (13)$$

Se cunosc noile valori ale puterilor (în nodurile unde ele au variat) și noile tensiuni, astfel că pentru regimul de după perturbație se pot calcula curenții generați în nodurile sistemului, cei corespunzători consumației și cei de sistem ($\underline{I}_{gi}$, $\underline{I}_{ci}$, $\underline{I}_i$). Datorită liniarizărilor făcute, ei nu vor mai verifica exact relațiile (1); micile diferențe care apar, numite curenți de corecție, se introduc la rezolvarea pasului următor în vectorul curenților de perturbație pentru toate nodurile i diferite de r și k. Deci aceste corecții pe cele două componente:

$$\delta I_{ic}' = I_{gi}' - I_{ci}' - I_i' \qquad (14')$$

$$\delta I_{ic}'' = I_{gi}'' - I_{ci}'' - I_i'' \qquad (14'')$$

vor completa începînd cu pasul II vectorul $[\delta I]$ inițial.

Pentru a asigura condițiile unor liniarizări corecte în domeniile de variație rapidă a unghiurilor, valorile perturbației inițiale se corectează la fiecare pas printr-o mărime invers proporțională cu raportul determinanților sistemului în două situații succesive

$$(\delta P_r)_{\text{nou}} = (\delta P_r)_{\text{vechi}} \frac{\Delta\text{nou}}{\Delta\text{vechi}}, \qquad (15)$$

unde Δ este determinantul sistemului de ecuații prezentat în anexă.

Se asigură în acest fel ca apropierea de regimul dorit să se facă prin pași tot mai mici, condiție care permite punerea în evidență și a regimurilor foarte grele.

Procedeul de trecere de la regimul inițial de funcționare spre un regim final greu conține o succesiune de pași de calcul, în fiecare dintre ei stabilindu-se perturbația și vectorul curenților de perturbație, matricea $[Y_{\text{modif.}}]$, variațiile de tensiune și noile tensiuni care apar în nodurile sistemului după perturbația introdusă; treptat se ajunge la regimul dorit.

Folosind procedeul de calcul prezentat anterior și formulele stabilite, s-a elaborat un algoritm a cărui schemă logică este dată în figura 3, Se disting următoarele etape:

a) Pe baza datelor de intrare (P_{gi}, Q_{gi}, U_i, δ_i, C_i, X_{gi}) se calculează componentele vectorilor de tensiune și ale t.e.m. din toate nodu-

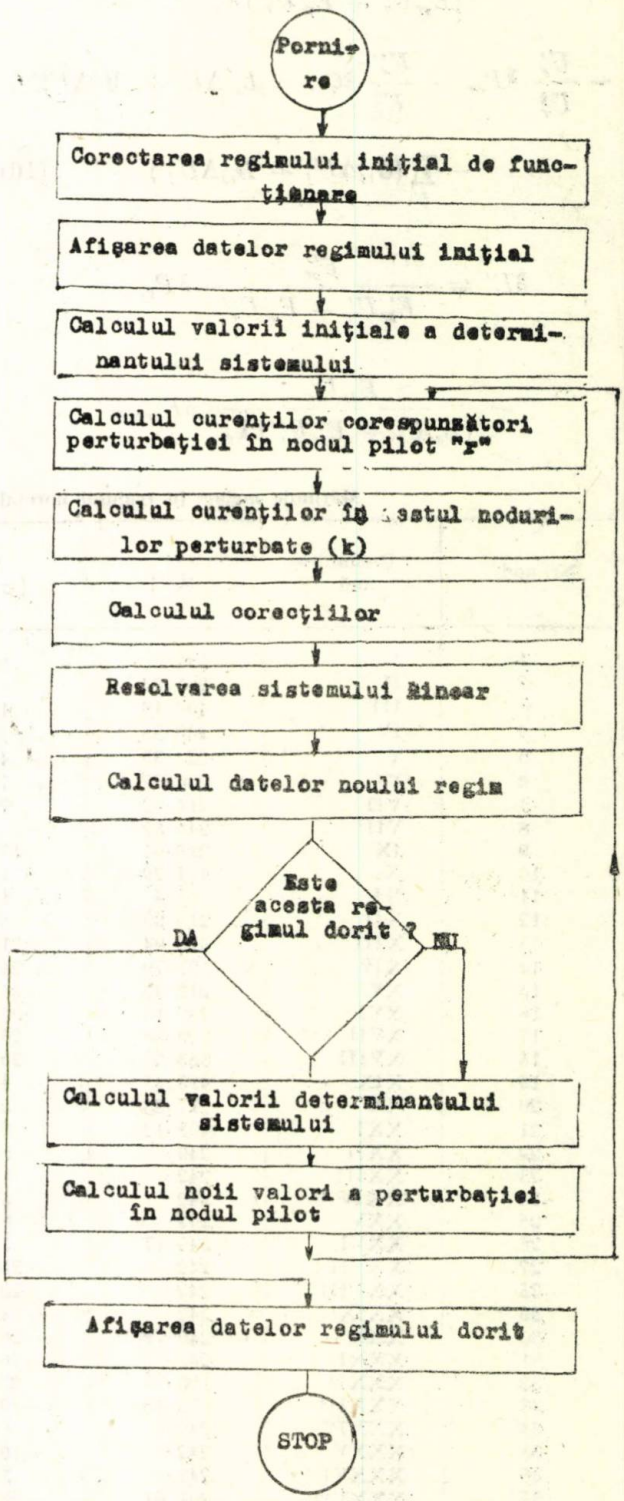


Fig. 3

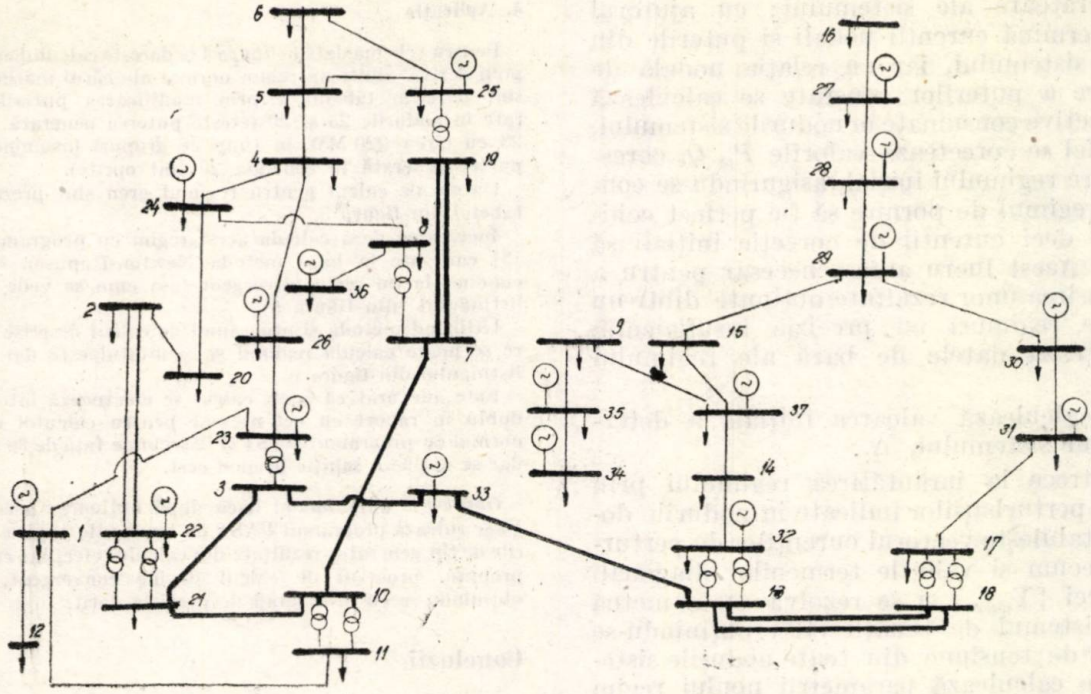


Fig. 4

```
 * B *              C A Z   NR.  1     R E G I M  NR.  1      REG.37N
N= 37  NE= 1  EPS= .50  QLIB= 0  UB= 0.  PLOT= 0  MCZ= 0  TR= 0  REG= 0  DEC= 0
BC= 1  BS= 1  EXTR= 0  Z1= 0  Z2= 0  Z3= 0  Z4= 0  Z5= 0  Z6= 0  GRAF= 0  TAB= 1  LS= 0

** B A Z A   C I T I T A    1-        REG.37N                    **
     N O D          P C          Q C          P G          Q G          QMIN         QMAX         V        Z    UM
   -1  I          295.950      203.000         .000         .000         .000         .000      232.57     0    .00
  -22  XXII        92.000      145.180      790.030         .000     -100.000      312.000      231.00     0    .00  - AV.23 QC>PC

  -23  XXIII      126.000       67.000      582.380         .000     -100.000      158.000      231.00     0    .00
  -24  XXIV       133.000      158.010      840.020         .000     -300.000      390.000      231.00     0    .00  - AV.23 QC>PC

  -25  XXV        182.000      184.000      666.020         .000     -300.000      344.000      231.00     0    .00  - AV.23 QC>PC

  -26  XXVI       190.000      124.000      223.010         .000     -100.000      137.000      231.00     0    .00
  -27  XXVII       92.000       75.010      179.240         .000     -100.000      141.000      231.00     0    .00
  -28  XXVIII     115.000       93.000      185.280         .000     -100.000       60.000      231.00     0    .00
  -29  XXIX       361.010      186.000      370.070         .000     -300.000      462.000      231.00     0    .00
  -30  XXX        248.000       89.000      150.010      125.990         .000         .000      220.00     0    .00
  -31  XXXI        70.000        6.620       79.290         .000     -100.000      119.000      231.00     0    .00
  -32  XXXII      387.460      218.770      386.140      119.130         .000         .000      220.00     0    .00
  -33  XXXIII     302.060      132.640      121.710       71.600         .000         .000      420.00     0    .00
  -34  XXXIV      121.000       86.000      188.200         .000     -100.000       72.000      231.00     0    .00
   35  XXXV          .000       20.000      160.300      167.810         .000         .000      236.00     0    .00  - AV.23 QC>PC

  -36  XXXVI       6.000       25.000      165.010         .000     -100.000       9.000      231.00     0    .00  - AV.23 QC>PC

   37  XXXVII     510.000      345.010      603.840      603.110         .000         .000      220.00     0    .00
    0               .000         .000         .000         .000         .000         .000         .00     0    .00

  T O T A L     6360.0       3298.3       5690.6       1087.6      -1700.0       2204.0

 COD     I     J    CRC   TIP     M          R          X          YCAP          CA     Z
          0     0     0     0     0       .000       .000    .0000000          0.     0

** B A Z A   S C R I S    1-        REG.37N                    **
  36  84      0   7  58

                                        *** D I V E R G E N T A ***          10

ITERATIA =  8
    1   -816.61      2     -2.35      3     26.14      4      -.28      5      -.10      6      -.02      7      -.44      8       .83
    9      -.14     10     -2.41     11      1.25     12     -.00     13     -1.63     14    -15.31     15     -7.09     16     -.00
   17    -10.31     18     -6.45     19     -1.09     20     -3.46     21      1.83     22     19.17     23     14.54     24    -1.26
   25       .12     26       .43     27       .00     28      -.00     29     -2.90     30     -2.24     31     -1.72     32      .19
   33     -1.98     34      -.88     35      2.12     36      -.37     37      -.10
                                  8  129.547      26.136      3                                                    23

    1      .000      2     -.023      3     -.079      4      .060      5     -.109      6     -.167      7     -.068      8     -.027      9     -.825
   10      -.039     11     -.044     12     -.160     13     -.802     14     -.922     15     -1.180    16    -1.165     17    -1.073     18     -.963
   19      -.107     20     -.065     21      .055     22      .069     23      .047     24      .086     25     -.030     26      .060     27    -1.138
   28    -1.096     29    -1.139     30    -1.106     31    -1.090     32      -.871     33      -.735     34     -.660     35     -.638     36      .017
   37      -.951
                                                                    73.365     23.628    305.84     33          17

    1-187148.50      2      -.92      3     -19.23      4      -.12      5      -.02      6      -.01      7      -.11      8       .12
    9       -.60     10      -.19     11      -.83     12      -.00     13      -4.90     14     -6.62     15     -2.06     16      -.00
   17      -1.30     18     -3.02     19      -.11     20     -1.17     21     -1.01     22      1.36     23       .17     24    214.19
   25     138.11     26      -.12     27       .00     28      -.00     29     241.06     30       .15     31       .37     32     -2.76
   33     -23.63     34    -16.28     35       .45     36      -.37     37      2.41

    1  232.57  -231.00      2  217.07  231.00      3  353.38  400.00      4  227.14  231.00      5  216.91  231.00      6  218.37  231.00
    7  393.78   400.00      8  229.29  231.00      9  206.74  231.00     10  391.03  400.00     11  223.75  231.00     12  204.63  231.00
   13  300.14   400.00     14  161.87  231.00     15  193.63  231.00     16  224.43  231.00     17  195.21  231.00     18  319.23  400.00
   19  395.20   400.00     20  213.45  231.00     21  375.09  400.00     22  225.68  -231.00    23  219.19  -231.00    24  231.00  -231.00
   25  231.00  -231.00     26  224.22  -231.00    27  229.59  -231.00    28  229.98  -231.00    29  231.00  -231.00    30  231.01  -231.00
   31  217.79  -231.00     32  157.68  231.00     33  296.25  400.00     34  231.00  -231.00    35  230.55  231.00     36  230.64  -231.00
   37  187.32   231.00
```

Fig. 5

rile generatoare ale sistemului; cu ajutorul lor se determină curenţii nodali şi puterile din nodurile sistemului, iar cu relaţia nodală de conservare a puterilor generate se calculează puterile active consumate în nodurile sistemului; în acest fel se corectează valorile P_c, Q_c corespunzătoare regimului iniţial, asigurîndu-se condiţia ca regimul de pornire să fie perfect echilibrat (şi deci curenţii de corecţie iniţiali să fie nuli). Acest lucru a fost necesar pentru a evita folosirea unor rezultate obţinute dintr-un calcul de regimuri cu precizie insuficientă.

Se afişează datele de bază ale regimului iniţial.

b) Se calculează valoarea iniţială a determinantului sistemului, Δ.

c) Se trece la înrăutăţirea regimului prin aplicarea perturbaţiilor indicate în nodurile dorite. Se stabileşte vectorul curenţilor de perturbaţie, precum şi valorile termenilor diagonali ai matricei $[Y_{modif}]$ şi se rezolvă cu o metoă directă sistemul de ecuaţii (12), obţinîndu-se variaţiile de tensiune din toate nodurile sistemului. Se calculează parametrii noului regim şi se verifică dacă acesta este regimul dorit. În caz negativ se reia calculul de la pct. c, alături de curenţii de perturbaţie introducîndu-se şi curenţii de corecţie corespunzători pasului anterior, calculaţi cu relaţiile (14'), (14'').

Pe baza acestui algoritm a fost realizat un program în limbaj FORTRAN IV, utilizat pe calculatoarele FELIX C – 512.

4. Aplicaţie

Pentru schema dată în figura 4 se doreşte calculul unui regim greu derivat dintr-un regim normal ale cărui mărimi nodale sînt date în tabelul 1, prin modificarea puterilor generate în nodurile 23 şi 29 (creşte puterea generată în nodul 23 cu circa 220 MW în timp ce grupuri însumînd aceeaşi putere generată în centrala 29 sînt oprite).

Datele de calcul pentru regimul greu sînt prezentate în tabelul din figura 5.

Încercarea de a calcula acest regim cu programul FAST [3] care are la bază metoda Newton-Raphson decuplată conduce la un regim divergent (aşa cum se vede în copia listingului din figura 5).

Utilizînd metoda şi programul de calcul descrise în lucrare se poate calcula regimul şi rezultatul este dat în copia listingului din figura 6.

Este adevărat că acest calcul se efectuează într-un timp dublu în raport cu cel necesar pentru calculul regimului normal cu programul FAST (172 secunde faţă de 80 secunde), dar se obţine o soluţie în mod cert.

Observaţie importantă: dacă după obţinerea acestei soluţii se rulează programul FAST cu tensiunile impuse în nodurile de tip generator rezultate din calculul efectuat cu metoda propusă, procesul de calcul devine convergent, regimul obţinîndu-se cu orice grad de precizie dorit.

Concluzii

Calculul regimurilor grele este o problemă care apare frecvent în analizele de siguranţă a funcţionării unui ansamblu electroenergetic mai ales pentru situaţii post-avarie simulate care constituie de obicei regimuri cu rezerva de stabilitate redusă.

Utilizarea metodelor clasice pentru astfel de cazuri nu conduce în multe situaţii la obţinerea unei soluţii datorită fenomenelor de

NODUL	TENSIUNEA	UNGHIUL	P-C	Q-C	P-G	Q-G
1	232.587	.000	295.95	203.00	819.15	535.46
2	223.848	-1.403	75.00	33.00		
3	365.015	-4.572	.00	-.00		
4	234.058	2.995	286.01	147.99		
5	225.389	-6.121	178.00	99.00		
6	227.055	-9.223	156.00	23.00		
7	404.251	-3.915	.00	.00		
8	235.832	-1.729	139.00	63.99		
9	215.014	-46.438	94.18	37.01		
10	397.160	-2.273	.00	.06		
11	225.469	-2.558	446.98	227.98		
12	204.657	-9.139	149.99	77.99		
13	319.633	-44.961	-.00	-.00		
14	172.045	-51.607	250.33	141.70		
15	205.583	-65.481	299.68	105.96		
16	238.517	-64.813	124.29	69.16		
17	207.083	-57.081	216.90	32.59		
18	339.253	-53.834	.00	-.00		
19	407.082	-6.059	500.00	-.00		
20	220.523	-3.705	264.00	80.20		
21	385.146	.149	-50.00	-.01		
22	231.767	3.713	92.00	145.18	790.03	312.20
23	224.604	2.456	126.00	67.00	582.39	157.55
24	237.830	4.388	135.00	158.01	840.02	389.96
25	238.962	-2.413	182.00	184.00	666.01	344.20
26	230.280	3.091	190.00	124.00	223.00	136.87
27	243.366	-63.425	92.00	75.01	179.24	141.08
28	243.196	-61.234	115.00	93.00	185.27	61.51
29	242.811	-62.886	361.01	186.00	370.06	461.47
30	232.681	-61.596	248.00	89.01	150.00	125.92
31	229.423	-60.723	70.00	6.61	79.29	118.70
32	168.075	-48.765	387.45	218.75	386.15	119.22
33	315.287	-41.247	302.06	132.68	121.70	71.65
34	236.296	-37.483	121.00	86.00	188.19	65.93
35	236.887	-39.025	-.00	20.00	160.29	167.81
36	237.162	.682	6.00	25.00	165.00	8.52
37	197.467	-53.231	510.00	345.00	603.82	602.93

Fig. 6

divergență apărute în calculele iterative care stau la baza lor.

Lucrarea oferă o metodă care rezolvă dezideratul calculului regimurilor grele printr-o procedură directă care constă în trecerea treptată, din aproape în aproape, cu variații mici ale parametrilor de la un regim normal (ușor) pînă la atingerea stării urmărite.

Algoritmul și programul elaborat pentru calculatorul FELIX C-512 au fost verificate cu bune rezultate pe scheme reale ale SEN pentru diverse aplicații.

ANEXA

a) Relațiile de calcul pentru coeficienții L, M, N, O sînt următoarele:

$$L_i = G_{ii} + \frac{1}{X_{gi}(E'_{gi}U'_i + E''_{gi}U''_i)} \cdot \left(\frac{E_{gi}}{U_i} C_i U'_i U''_i + E'_{gi}E''_{gi} \right) - \frac{P_{ci}(U'^2_i + U''^2_i) + 2Q_{ci}U'_iU''_i}{U^4_i};$$

$$M_i = B_{ii} + \frac{1}{X_{gi}(E'_{gi}U'_i + E''_{gi}U''_i)} \cdot \left(\frac{E_{gi}}{U_i} C_i U''_i + E'_{gi}U'_i + E''_{gi}U''_i - E'^2_{gi} \right) - \frac{P_{ci}U'_iU''_i + Q_{ci}(U'^2_i - U''^2_i)}{U^4_i};$$

$$N_i = -B_{ii} - \frac{1}{X_{gi}(E'_{gi}U'_i + E''_{gi}U''_i)} \cdot \left(\frac{E_{gi}}{U_i} C_i U'_i + E'_{gi}U'_i + E''_{gi}U''_i - E'^2_{gi} \right) - \frac{P_{ci}U'_iU''_i + Q_{ci}(U'^2_i - U''^2_i)}{U^4_i}; \quad (1)$$

$$O_i = G_{ii} - \frac{1}{X_{gi}(E'_{gi}U'_i + E''_{gi}U''_i)} \cdot \left(\frac{E_{gi}}{U_i} C_i U'_i U''_i + E'_{gi}E''_{gi} \right) + \frac{P_{ci}(U'^2_i - U''^2_i) + 2Q_{ci}U'_iU''_i}{U^4_i}.$$

b) În considerarea nodului de echilibru în sistemul de ecuații (12) ipotezele care se fac asupra mărimilor din nodul 1, nod de echilibru și referință sînt următoarele:

— puterea generată, P_{g1}, este liberă, nodul preluînd variația pierderilor din sistem și diferența datorită liniarizărilor ($\Delta P_{g1} \neq 0$);

— $\delta P_{c1} = 0$, $\delta Q_{c1} = 0$, $\delta P_{g1} = 0$, $\delta E_{g1} = 0$ (nu apar perturbații suplimentare de nici un tip în acest nod);

— $U''_1 = 0$, $\Delta U''_1 = 0$ (nodul 1 este referința unghiurilor).

Cu aceste observații ecuațiile (10) — (11) se scriu pentru nodul 1 astfel:

$$0 = L_1 \Delta U'_1 - \frac{\Delta P_{g1}}{U'_1} - \sum_j [G_{1j}\,\Delta U'_j + B_{1j}\,\Delta U''_j]$$

$$0 = N_1 \Delta U'_1 - \frac{E''_{g1}}{E'_{g1}} \frac{\Delta P_{g1}}{U'_1} - \sum_j [-B_{1j}\,\Delta U'_j + G_{1j}\,\Delta U''_j].$$

Sistemul de ecuații pentru rețeaua complexă capătă deci forma (2) sub care se folosește la fiecare pas de înrăutățire pentru calculul variațiilor de tensiune.

$$\begin{bmatrix} c \\ o \\ \delta I'_{2c} \\ \delta I''_{2c} \\ \vdots \\ \delta I'_k \\ \delta I''_k \\ \vdots \\ \delta I'_r \\ \delta I''_r \\ \vdots \\ \delta I'_{ic} \\ \delta I''_{ic} \\ \vdots \\ \delta I'_{nc} \\ \delta I''_{nc} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_1 & -1 & -G_{12} & -B_{12} & \dots & -G_{1k} & -B_{1k} & \dots & -G_{1r} & -B_{1r} & \dots & -G_{1i} & -B_{1i} & \dots & -G_{1n} & -B_{1n} \\ N_1 & -\frac{E''_{G1}}{E'_{g1}} & B_{12} & -G_{12} & \dots & B_{1k} & -G_{1k} & \dots & B_{1r} & -G_{1r} & \dots & B_{1i} & -G_{1i} & \dots & B_{1n} & -G_{1n} \\ G_{21} & 0 & L_2 & E_2 & \dots & -G_{2k} & -B_{2k} & \dots & -G_{2r} & -B_{2r} & \dots & -G_{2i} & -B_{2i} & \dots & -G_{2n} & -B_{2n} \\ -B_{21} & 0 & N_2 & O_2 & \dots & B_{2k} & -G_{2k} & \dots & B_{2r} & -G_{2r} & \dots & B_{2i} & -G_{2i} & \dots & B_{2n} & -G_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots & \vdots & & \vdots & \vdots & & \vdots & \vdots & & \vdots & \vdots \\ -G_{k1} & 0 & -G_{k2} & -B_{k2} & \dots & L_k & N_k & \dots & -G_{kr} & -B_{kr} & \dots & -G_{ki} & -B_{ki} & \dots & -G_{kn} & -B_{kn} \\ B_{k1} & 0 & B_{k2} & -G_{k2} & \dots & N_k & O_k & \dots & B_{kr} & -G_{kr} & \dots & B_{ki} & -G_{ki} & \dots & B_{kn} & -G_{kn} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots & \vdots & & \vdots & \vdots & & \vdots & \vdots & & \vdots & \vdots \\ -G_{r1} & 0 & -G_{r2} & -B_{r2} & \dots & -G_{rk} & -B_{rk} & \dots & L_r & M_r & \dots & -G_{ri} & -B_{ri} & \dots & -G_{rn} & -B_{rn} \\ B_{r1} & 0 & B_{r2} & -G_{r2} & \dots & B_{rk} & -G_{rk} & \dots & N_r & O_r & \dots & B_{ri} & -G_{ri} & \dots & B_{rn} & -G_{rn} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots & \vdots & & \vdots & \vdots & & \vdots & \vdots & & \vdots & \vdots \\ -G_{i1} & 0 & -G_{i2} & -B_{i2} & \dots & -G_{ik} & -B_{ik} & \dots & -G_{ir} & -B_{ir} & \dots & L_i & M_i & \dots & -G_{in} & -B_{in} \\ B_{i1} & 0 & B_{i2} & -G_{i2} & \dots & B_{ik} & -G_{ik} & \dots & B_{ir} & -G_{ir} & \dots & N_i & O_i & \dots & B_{in} & -G_{in} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots & \vdots & & \vdots & \vdots & & \vdots & \vdots & & \vdots & \vdots \\ -G_{n1} & 0 & -G_{n2} & -B_{n2} & \dots & -G_{nk} & -B_{nk} & \dots & -G_{nr} & -B_{nr} & \dots & -G_{ni} & -B_{ni} & \dots & L_n & M_n \\ B_{n1} & 0 & B_{n2} & -G_{n2} & \dots & B_{nk} & -G_{nk} & \dots & -B_{nr} & -G_{nr} & \dots & B_{ni} & -G_{ni} & \dots & N_n & O_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta U'_1 \\ A^{*)} \\ \Delta U'_2 \\ \Delta U''_2 \\ \vdots \\ \Delta U'_k \\ \Delta U''_k \\ \vdots \\ \Delta U'_r \\ \Delta U''_r \\ \vdots \\ \Delta U'_i \\ \Delta U''_i \\ \vdots \\ \Delta U'_n \\ \Delta U''_n \end{bmatrix} \quad (2)$$

*) $A = \frac{\Delta P_{g1}}{U'_1}$ mărime care interesează în calcule

Bibliografie

[1] Stagg, G. W., El Abiad, H. H. *Computer Methods in Power System Analysis.* New York, Mc Graw-Hill, 1968.

[2] Arie, E., Pomârleanu, M., Bejuscu, L., Botgros, M. *Determinarea rezervei de stabilitate statică a sistemelor electroenergetice complexe.* În: Studii și Cercetări de Energetică și Electrotehnică, vol. 3/1973.

[3] * * * *FAST — Program general de calcul al regimului permanent al sistemelor electroenergetice.* Manual de utilizare, 1978.

(Primit la 21 februarie 1989, acceptat la 29 martie 1989)

Determinarea pe baza datelor de catalog a parametrilor electrici ai circuitului echivalent al motorului de inducție cu rotor în scurtcircuit

Dr. ing. MIHAI MOGA, dr. ing. ADRIAN BUTA, ing. DĂNUȚ DĂNEASA*

Descriptori: motoare de inducție, circuite echivalente

CZ : 621.313.333

În cadrul lucrării sînt deduse relațiile pentru calculul parametrilor circuitului echivalent al motorului de inducție cu rotor în scurtcircuit, considerînd cunoscute datele de catalog uzuale ale acestuia. Valorile parametrilor obținuți de ceste relații pentru un set de motoare de inducție tip ASI sînt comparate cu cele ale parametrilor acelorași motoare determinate pe baza încercărilor de laborator. Pe baza unor teste experimentale se prezintă influența variației tensiunii la borne și frecvența acesteia în jurul valorii nominale asupra reactanței de magnetizare a motorului. Utilizînd relațiile de calcul al parametrilor deduse în lucrare sînt determinate valorile parametrilor seriei de motoare tip ASI, valori prezentate grafic și tabelar.

The relations of the equivalent circuit of the squirrel-cage induction motor are obtained for the parameters calculations considering as well-known the catalogue data. The values of the parameteres obtained by these relations for a set of induction motors type ASI are compared to those of the parameteres of the same motors determined by laboratory tests. As a result of these experimental tests the influence of the voltage variation at the terminals and its frequency around the rated value on the motors magnetizing reactance is presented. Using the relations for the calculation of the parameters determined in this paper, the parameters values of the motors series type ASI, represented graphically and in tables are calculated.

Introducere

Analiza regimurilor de funcționare permanente sau tranzitorii ale motoarelor de inducție în vederea evaluării performanțelor acestora și estimării influenței variațiilor mărimilor electrice oferite de sistemul electroenergetic la bornele lor (tensiune și frecvență) asupra comportării în regim staționar sau dinamic al acestora implică cunoașterea parametrilor circuitelor echivalente ale acestor motoare.

Neglijînd pierderile de putere active în miezul feromagnetic al mașinii, parametrii schemei electrice a circuitului echivalent al motorului de inducție (fig. 1) sînt:

— rezistența R_1 și inductanța de dispersie $L_{\sigma 1}$ a înfășurării statorice;

— rezistența R'_2 și inductanța de dispersie $L'_{\sigma 2}$ a înfășurării rotorice, reduse la nivelul de tensiune al statorului;

— inductanța de magnetizare L_m considerată în regimul de funcționare corespunzător tensiunii nominale la borne și frecvenței $f_n(\omega_n$ nominale.

Determinarea acestor parametri se efectuează în mod uzual pe baza încercărilor de laborator în regim de mers în gol și scurtcircuit [1, 6] de către firmele constructoare, stabilindu-se astfel datele de catalog ale motorului. În majoritatea situațiilor concrete de exploatare a motoarelor de inducție aceste încercări nu sînt practic posibile, impunîndu-se în consecință ca determinarea parametrilor circuitului echivalent al motorului (figura 1) să se efectueze pe baza datelor sale de catalog.

* Dr. ing. Mihai Moga, dr. ing. Adrian Buta — Facultatea de Electrotehnică, Institutul Politehnic, Timișoara, ing. Dăneasa Dănuț — Antrepriza Construcții Montaj Tg. Jiu.

În cadrul prezentei lucrări, admițind unele ipoteze simplificatoare, în general acceptabile pentru motoarele de inducție de puteri medii și mari se deduc relațiile de calcul pentru para-

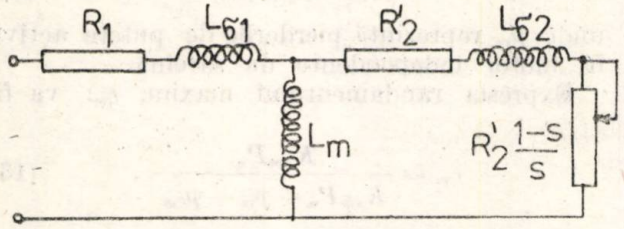


Fig. 1. Schema electrică a circuitului echivalent al motorului de inducție.

metrii circuitului echivalent, considerînd cunoscute următoarele date de catalog ale motorului de inducție :

P_n	— puterea nominală [W];
U_n	— tensiunea nominală de linie [V];
I_n	— curentul statoric nominal [A];
$\cos \varphi_n$	— factorul de putere nominal;
η_n	— randamentul nominal;
$m = M_p/M_n$	— cuplul de pornire relativ;
$i = I_p/I_n$	— curentul de pornire relativ;
p	— numărul perechilor de poli;
ω_n	— pulsația nominală a tensiunii la borne [rad/s];
n_n	— turația nominală a rotorului [rot/min].

Aceste date de catalog reprezintă cu o anumită aproximație datele reale ale unui motor concret [3], în consecință și parametrii ce se vor estima pe baza lor vor prezenta un anumit grad de aproximație. Acest fapt justifică admiterea unor ipoteze simplificatoare în reprezentarea motorului de inducție, astfel încît să se obțină relații de calcul rezonabile pentru parametrii circuitului electric echivalent considerat. Aceste ipoteze simplificatoare, în afara neglijării pierderilor de putere activă în miezul feromagnetic al motorului menționată mai sus, sînt :

a) inductanțele de dispersie ale înfășurărilor statorică și rotorică reduse la același nivel de tensiune se consideră egale, deci : $L_{\sigma 1} = L'_{\sigma 2} = L_\sigma$;

b) inductanța de dispersie $L_{\sigma p}$ la pornirea motorului se consideră de forma $L_{\sigma p} = K \cdot L_\sigma$, unde K este un coeficient de saturație ale cărui valori sînt în domeniul (0,8—0,9) [1];

c) în regimul permanent nominal de funcționare, avînd în vedere valoarea redusă a reactanței de dispersie ωL_σ în raport cu rezistența R'_2/s_n(fig. 2) se admite următoarea relație între curentul statoric I_n și curentul rotoric I'_{2n};

$$I'_{2n} = I_n \cdot \cos \varphi_n ; \qquad (3)$$

d) pierderile de putere activă p_{bn} în bobinajele motorului în regim nominal, se consideră de forma :

$$p_{bn} = K_b \cdot P_n/\eta_n, \qquad (4)$$

unde valoarea coeficientului K_b se va estima conform relațiilor prezentate la pct. 1.2.

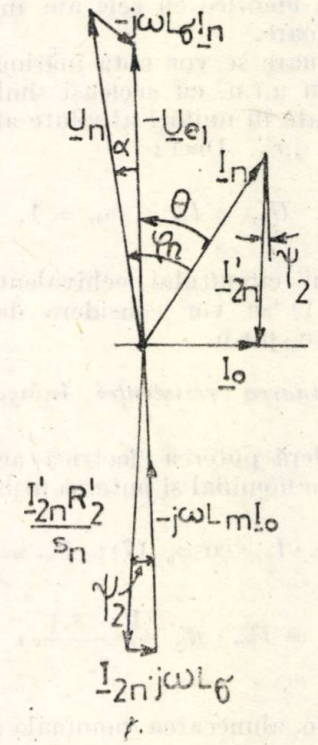


Fig. 2. Diagrama fazorială a motorului de inducție considerat în regim permanent nominal.

Considerînd aceste ipoteze simplificatoare în lucrare se deduc relațiile necesare calculului parametrilor motoarelor de inducție exprimate în u.r.n. și se prezintă comparativ valori ale parametrilor unor motoare de inducție determinate cu aceste relații și valori obținute pentru aceleași tipuri de motoare pe baza buletinelor de încercări de laborator. În urma implementării relațiilor deduse într-un program de calcul au fost determinați parametrii circuitelor electrice echivalente ale motoarelor de inducție de fabricație indigenă din seria unitară ASI [5], cu puteri nominale cuprinse între 0,75 și 90 kW.

1. Relații de calcul pentru parametrii circuitelor electrice echivalente ale motoarelor de inducție

Avînd în vedere avantajele exprimării parametrilor electrici în unități relative nominale (u.r.n.), relațiile care se vor deduce în conti-

nuare vor considera toate mărimile exprimate în acest sistem de unităţi. Stabilind ca mărimi de bază independente tensiunea nominală de linie U_n, curentul nominal statoric I_n şi pulsaţia nominală a tensiunii la borne ω_n, rezultă impedanţa, puterea şi inductanţa de bază:

$$Z_b = \frac{U_n}{\sqrt{3} I_n}; \quad S_b = \sqrt{3}\, U_n I_n; \quad L_b = \frac{U_n}{\sqrt{3} I_n \omega_n}, \quad (5)$$

iar valorile tuturor reactanţelor exprimate în u.r.n. devin identice cu cele ale inductanţelor corespunzătoare.

În continuare se vor nota mărimile electrice exprimate în u.r.n. cu aceleaşi simboluri ca şi cele exprimate în unităţi absolute afectate însă de indicele „r". Deci:

$$U_{nr} = I_{nr} = \omega_{nr} = 1. \quad (6)$$

Parametrii circuitului echivalent al motorului (fig. 1) se vor considera de asemenea exprimaţi în u.r.n.

1.1. Determinarea rezistenţei înfăşurării rotorice R'_2

Se consideră puterea electrică activă absorbită în regim nominal şi puterea utilă de forma:

$$P_{absr} = U_{nr} \cdot I_{nr} \cdot \cos\varphi_n \quad (7); \quad P_{nr} = \eta_n P_{absr} =$$

$$= I^{2]}_{2nr} \cdot R'_2 \frac{(1 - s_n)}{s_n}, \quad (8)$$

unde s_n este alunecarea nominală:

$$s_n = \left(\frac{\omega_n \cdot 60}{2 \cdot \pi \cdot p} - n_n\right) \Big/ \left(\frac{\omega_n \cdot 60}{2 \cdot \pi \cdot p}\right).$$

Înlocuind curentul rotoric I'_{2nr} cu expresia sa, conform relaţiei (3), în (8) şi ţinînd cont de relaţia (7) rezultă:

$$R'_2 = \frac{\eta_n U_{nr} \cdot I_{nr} \cdot \cos\varphi_n}{I^2_{nr} \cos^2\varphi_n} \cdot \frac{s_n}{1 - s_n}. \quad (9)$$

Avînd în vedere şi relaţia (6) expresia finală a rezistenţei înfăşurării rotorice exprimate în u.r.n., rezultă:

$$R'_2 = \frac{\eta_n \cdot s_n}{(1 - s_n) \cdot \cos\varphi_n}. \quad (10)$$

1.2. Determinarea rezistenţei înfăşurării statorice R_1

În vederea deducerii relaţiei de calcul pentru R_1 se impune evaluarea coeficientului K_b definit conform relaţiei (4). În acest scop definind factorul de sarcină $K_s = I/I_n$ (11) se arată în [4] că valoarea sa pentru care randamentul motorului devine maxim este:

$$K_{sm} = \sqrt{p_{ct}/p_{bn}}, \quad (12)$$

unde p_{ct} reprezintă pierderile de putere activă în motor independente de sarcină.

Expresia randamentului maxim, η_m: va fi,

$$\eta_m = \frac{K_{sm} P_n}{K_{sm} P_n + p_{ct} + p_{bm}}, \quad (13)$$

unde p_{bm} reprezintă pierderile în bobinaje în regimul de funcţionare al motorului cînd randamentul este maxim.

Pe baza relaţiei (11) rezultă:

$$p_{bm} = K^2_{sm} \cdot p_{bn}, \quad (14)$$

iar din (12) se obţine:

$$p_{bm} = p_{ct}. \quad (15)$$

Introducind relaţiile (14) şi (15) în (13) şi explicitînd pierderile în bobinaje în regimul nominal rezultă:

$$p_{bn} = \frac{P_n}{2K_{sm} \cdot \eta_m}. \quad (16)$$

Avînd în vedere că pentru motoarele de inducţie cu rotor în colivie randamentul nominal este practic randamentul maxim, iar valoarea sa se obţine pentru $K_{sm} = (0{,}75 \div 1)$ [2, 6] relaţia (16) devine:

$$p_{bn} = \frac{P_n}{2(0{,}75 \div 1)\eta_n} = (0{,}67 \div 0{,}5) \frac{P_n}{\eta_n}. \quad (16')$$

Pe de altă parte, pierderile p_{bnr} (exprimate în u.r.n.) pot fi scrise sub forma:

$$p_{bnr} = I^2_{nr} \cdot R_1 + I^2_{2nr} \cdot R'_2. \quad (17)$$

Introduse în (16') aceasta devine:

$$(0{,}67 \div 0{,}5) \frac{U_{nr} \cdot I_{nr} \cdot \cos\varphi_n (1 - \eta_n)}{\eta_n} =$$

$$= I^2_{nr} R_1 + I^2_{2nr} R'_2. \quad (18)$$

Considerind relaţiile (6) şi (10), din (18) se explicitează rezistenţa R_1 de forma:

$$R_1 = \frac{(0{,}67 \div 0{,}5)(1 - \eta_n - s_n) - 0{,}24 \eta_n s_n}{1 - s_n} \cos\varphi_n. \quad (19)$$

1.3. Determinarea inductanței de dispersie, L_σ

Considerînd tensiunea la bornele motorului în momentul pornirii egală cu valoarea sa nominală și neglijînd reactanța de magnetizare în acest caz, curentul absorbit la pornire este

$$I_{pr}^2 = U_{nr}^2/[(R_1 + R'_p)^2 + (2 \cdot \omega L_{\sigma_p})^2], \tag{20}$$

unde R'_p reprezintă rezistența rotorică la pornire, a cărei expresie în funcție de cuplul și curentul de pornire relativ m, respectiv i, este :

$$R'_p = \frac{m \cdot R'_2}{s_n \cdot i^2}. \tag{21}$$

Introducînd relația (21) în (20) și avînd în vedere ipoteza b) ca și relațiile (6), rezultă expresia inductanței de dispersie L_σ:

$$L_\sigma = \frac{1}{2(0{,}8 - 0{,}9)}\left[1/i^2 - R_1 + \frac{mR'_2}{s_n i^2}\right]^{0{,}5} \tag{22}$$

1.4. Determinarea inductanței de magnetizare L_m

Pe baza diagramei fazoriale a motorului de inducție considerată în regim permanent nominal (vezi fig. 2), se poate scrie relația :

$$I'_{2nr} \cdot R'_2/s_n \cdot \cos \psi_2 = I_{or} \cdot \omega \cdot L_m, \tag{23}$$

unde semnificațiile notațiilor de mai sus și ale celor utilizate în continuare sînt precizate în figura 2.

În vederea determinării valorii inductanței de magnetizare pe baza relației (23) se parcurg următoarele etape :

a — se calculează unghiul α, neglijînd rezistența R'_2, în raport cu ωL_σ.

$$\alpha = \text{arc tg} \frac{\cos \varphi_n \cdot L_\sigma}{1 - \sin \varphi_n \cdot L_\sigma}; \tag{24}$$

b — considerînd unghiul $\theta = \varphi_n - \alpha$ se calculează unghiul ψ_2 conform relației :

$$\psi_2 = \text{arc sin} \frac{L_\sigma}{I'_{2nr} \cdot R'_2/s_n}, \tag{25}$$

unde înlocuind curentul I_{2nr} cu $I_{nr} \cos \theta$, conform diagramei fazoriale din figura 2, rezultă :

$$\psi_2 = \text{arc sin} \frac{L_\sigma(1 - s_n)\cos \varphi_n}{\eta_n \cdot \cos \theta}; \tag{26}$$

c — se exprimă curentul de magnetizare, conform figurii 2, astfel :

$$I_{or} = I_{ar} \cdot \sin \theta - I'_{2nr} \sin \psi_2 \tag{27}$$

unde considerînd și relațiile (6) se obține :

$$I_{or} = \sin \theta - \cos \theta \cdot \sin \psi_2. \tag{27'}$$

Introducînd relațiile (27'), (10) și (6) în (23) se obține expresia inductanței de magnetizare corespunzătoare tensiunii nominale la bornele motorului, fără a lua în considerare saturația miezului :

$$L_m = \frac{\eta_n \cos \theta \cdot \cos \psi_2}{(1 - s_n)\cos \varphi_n(\sin \theta - \cos \theta \cdot \sin \psi_2)}. \tag{28}$$

2. Considerarea saturației inductanței de magnetizare

Inductanța de magnetizare L_m obținută cu relația (28) corespunde situației în care tensiunea la borne și frecvența acesteia au valorile nominale.

Pentru alte valori ale tensiunii la borne, în jurul valorii nominale (mai ales superioare), valoarea inductanței de magnetizare se modifică datorită modificării stării de saturație a miezului feromagnetic al motorului. Același efect îl produce și variația frecvenței (îndeosebi scăderea acestuia sub valoarea nominală) [1, 3].

Din aceste motive este de așteptat ca relația (28) să fie corectată pentru a ține cont de starea de saturație dependentă de tensiunea de alimentare și de frecvența acesteia.

În vederea determinării influenței tensiunii la borne și a frecvenței acesteia asupra valorii inductanței de magnetizare s-au ridicat experimental pentru cîteva motoare de inducție din seria ASI cu puteri nominale de (0,75—3) kW și diverse turații de sincronism dependențele (medii) ale puterii reactive absorbite în regimul de mers în gol, în funcție de tensiunea aplicată la borne, de frecvența acesteia, $f =$ 50 Hz și $f = 48$ Hz (figura 3).

Neglijindu-se puterea reactivă disipată în inductanțele de dispersie în acest regim și considerînd că întreaga putere reactivă absorbită Q_r servește la magnetizarea miezului feromagnetic se poate scrie relația :

$$Q_r = \frac{U_r^2}{\omega_r \cdot L_{ms}}, \tag{29}$$

unde L_{ms} reprezintă inductanța de magnetizare la tensiunea de alimentare U_r, deci saturată.

Pentru o anumită frecvență (în jurul lui f_n), caracteristica $Q_r = f(U_r)$ determinată experimental (fig. 3) pentru valori ale tensiunii la borne apropiate de valoarea nominală se poate admite de forma :

$$Q_r = \frac{U_r^{2+C_s}}{\omega_r L_m}, \qquad (30)$$

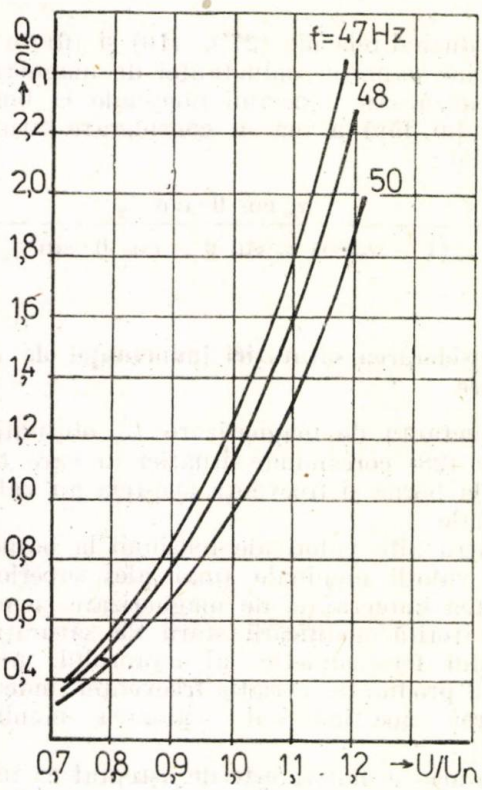


Fig. 3. Variația puterii reactive absorbite de motorul de inducție în regim de mers în gol în funcție de tensiune și frecvență; determinări experimentale.

unde L_m este inductanta corespunzătoare tensiunii nominale ($U_{rn} = 1$) și frecvenței nominale ($\omega_{nr} = 1$), iar C_s este un exponent ce caracterizează saturația miezului.

Valoarea exponentului C_s se estimează prin metoda celor mai mici pătrate pe bază condiției ca expresia (30) să aproximeze cel mai bine caracteristica $Q_r = f(U_r)$ determinată experimental.

Pentru gama de motoare de inducție testată, valoarea lui C_s a fost cuprinsă în intervalul de valori (0,5 ÷ 0,7) pentru un domeniu de variație a tensiunii la borne de $\pm$ 10% și de variație a frecvenței de — 6%.

Analizînd valorile lui Q_r absorbite de motor la aceeași tensiune, dar frecvențe diferite, ω_1 și ω_2, se constată existența unei corelații strînse în jurul punctului de funcționare de forma :

$$\frac{Q_r(\omega_1)}{Q_r(\omega_2)} = \left(\frac{\omega_2}{\omega_1}\right)^4. \qquad (31)$$

Avîndu-se în vedere relațiile (29), (30) și (31) rezultă expresia inductanței de magnetizare în funcție de valoarea tensiunii la borne U_r și frecvența acesteia $\omega_r(\omega_r = \omega/\omega_n)$, de forma :

$$L_{ms} = L_m \cdot \omega_r^3 / U_r^{C_s}. \qquad (32)$$

Referitor la această expresie (32), a inductanței de magnetizare se precizează că ea este valabilă pentru un domeniu restrîns de variație a tensiunii de borne în jurul tensiunii nominale și a frecvenței sub valoarea nominală.

3. Validarea relațiilor deduse pentru calculul parametrilor

În vederea validării relațiilor pentru calculul parametrilor circuitelor echivalente ale motoarelor de inducție prezentate în paragraful precedent s-au determinat parametrii a 41 de motoare de inducție din seria ASI cu puteri nominale cuprinse între (0,55 și 55) kW de fabricație „Electromotor" Timișoara, pe baza probelor de mers în gol și scurtcircuit efectuate de laboratorul de încercări al întreprinderii constructoare și consemnate în buletinele de încercări.

Pentru aceste motoare, pe baza datelor de catalog, au fost determinați analitic aceiași parametri, cu relațiile deduse în cadrul lucrării, considerînd datele lor de catalog prezentate în [5].

În tabelul 1 sînt prezentate valorile acestor parametri și ale parametrilor determinați experimental (s-au considerat valorile medii în cazul în care au existat mai multe motoare cu date de catalog identice), ca și abaterea relativă, Δp, a valorilor, calculată conform relației :

$$\Delta p = \frac{p_m - p_c}{p_m} 100, \qquad (33)$$

unde p_m și p_c sînt valorile parametrilor măsurate, respectiv calculate.

Analiza datelor prezentate comparativ în tabelul 1 evidențiază abateri ale valorilor parametrilor calculați față de cei măsurați în ambele sensuri, abateri care sînt în general mai mari (în valoare absolută) pentru motoarele de inducție mici (sub 11 kW). Valorile procentuale ale abaterilor majorității parametrilor prezentați în tabelul 1 sînt cuprinse în domeniul (—25÷25) %. Prezența unor abateri în afara acestui domeniu poate fi justificată prin abateri ale datelor de catalog ale motorului (sau motoarelor) pentru care s-au determinat experimental acești parametri față de datele de catalog prezentate în [5] pentru tipul respectiv de motor.

Tabelul

Valorile parametrilor unor motoare asincrone tip ASI determinate prin măsurători de laborator și analitic pe baza datelor lor de catalog [5]

Putere nominală P_n [kW]	R_1 (u.r.n.)		R_2'(u.r.n.)		L_σ(u.r.n.)		L_m(u.r.n.)	
	măsurat / calculat	ΔR_1 [%]	măsurat / calculat	ΔR_2 [%]	măsurat / calculat	ΔL_σ [%]	măsurat / calculat	ΔL_m [%]
Motoare cu o pereche de poli, n_s = 3 000 rot/min								
0,75	0,108 / 0,0894	17,2	0,063 / 0,0709	−28,4	0,089 / 0,11	−24,7	1,84 / 2,23	−21,2
1,1	0,091 / 0,085	6,6	0,073 / 0,08	− 9,6	0,097 / 0,115	−18,56	1,87 / 2,54	35,8
2,2	0,0634 / 0,063	0,6	0,093 / 0,0731	21,5	0,127 / 0,133	− 4,6	3,128 / 3,25	− 3,9
11	0,0585 / 0,0612	− 4,6	0,028 / 0,024	14,8	0,123 / 0,129	− 4,9	3,44 / 3,58	4,1
22	0,047 / 0,053	−12,7	0,028 / 0,0202	27,8	0,13 / 0,138	− 6,16	4,27 / 4,47	− 4, 5
Motoare cu două perechi de poli, n_s = 1 500 rot/min								
0,75	0,107 / 0,088	17,75	0,08 / 0,105	−31,25	0,145 / 0,119	17,93	1,53 / 1,86	−21,57
2,2	0,082 / 0,081	1,21	0,047 / 0,056	−19,1	0,134 / 0,084	37,3	1,89 / 1,89	0
3	0,064 / 0,073	−14,1	0,044 / 0,055	−25	0,131 / 0,0995	24	2,16 / 2,12	1,85
5,5	0,055 / 0,063	−14,5	0,04 / 0,0421	− 5,2	0,12 / 0,122	− 1,7	2,41 / 2,64	− 9,55
55	0,027 / 0,032	−18,5	0,021 / 0,0213	− 1,43	0,12 / 0,133	−10,8	3,85 / 4,15	− 7,8
Motoare cu trei perechi de poli, n_s = 1 000 rot/min								
1,1	0,12 / 0,101	15,83	0,061 / 0,0656	−7,55	0,15 / 0,0934	37,7	1,42 / 1,55	− 9,16
2,2	0,069 / 0,085	−23,19	0,057 / 1,061	− 7,02	0,145 / 0,0984	32,1	1,43 / 1,65	−15,4
5,5	0,048 / 0,065	−35,4	0,042 / 0,0449	− 5,24	0,124 / 0,127	− 2,4	1,71 / 2,1	−22,8
15	0,0477 / 0,05	− 4,8	0,047 / 0,044	6,38	0,15 / 0,148	1,33	2,29 / 2,8	−24,2
30	0,03 / 0,036	−20	0,035 / 0,0273	22	0,137 / 0,131	4,37	3,05 / 3,24	− 6,23

Histograma repartiției abaterilor relative ale valorilor parametrilor calculați față de cele ale parametrilor măsurați (fig. 4) evidențiază o distribuție aproape normală a abaterilor, chiar și pentru numărul relativ mic (60) de valori considerate. Deplasarea histogramei spre valori negative ale abaterilor parametrilor indică, conform relației (33), faptul că în general parametrii calculați au valori mai mari decît cei măsurați, însă nu există nici un parametru pentru care toate valorile calculate să fie mai mari decît cele măsurate, ceea ce nu permite

o corecție a valorilor calculate astfel încît abaterea medie să fie nulă.

Abateri relative ale parametrilor calculați față de valorile lor determinate prin încercări de laborator mai mari de 25% (în valoare absolută) prezente în proporție de circa 12% în testele efectuate (tabelul 1) se consideră că sînt accidentale, cauzate de aspecte constructive ale motoarelor pentru care s-au făcut încercările.

În concluzie, se poate considera valorile parametrilor circuitelor echivalente ale motoarelor de inducție cu rotor în scurtcircuit determinate pe baza datelor generate de catalog ale acestora că reprezintă datele reale ale mo-

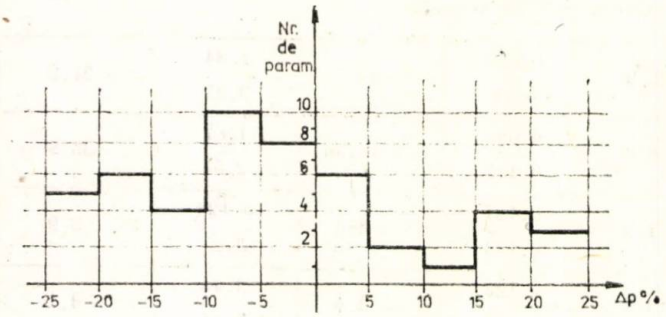


Fig. 4. Histograma repartiției abaterilor relative ale valorilor parametrilor calculați față de cele ale parametrilor măsurați.

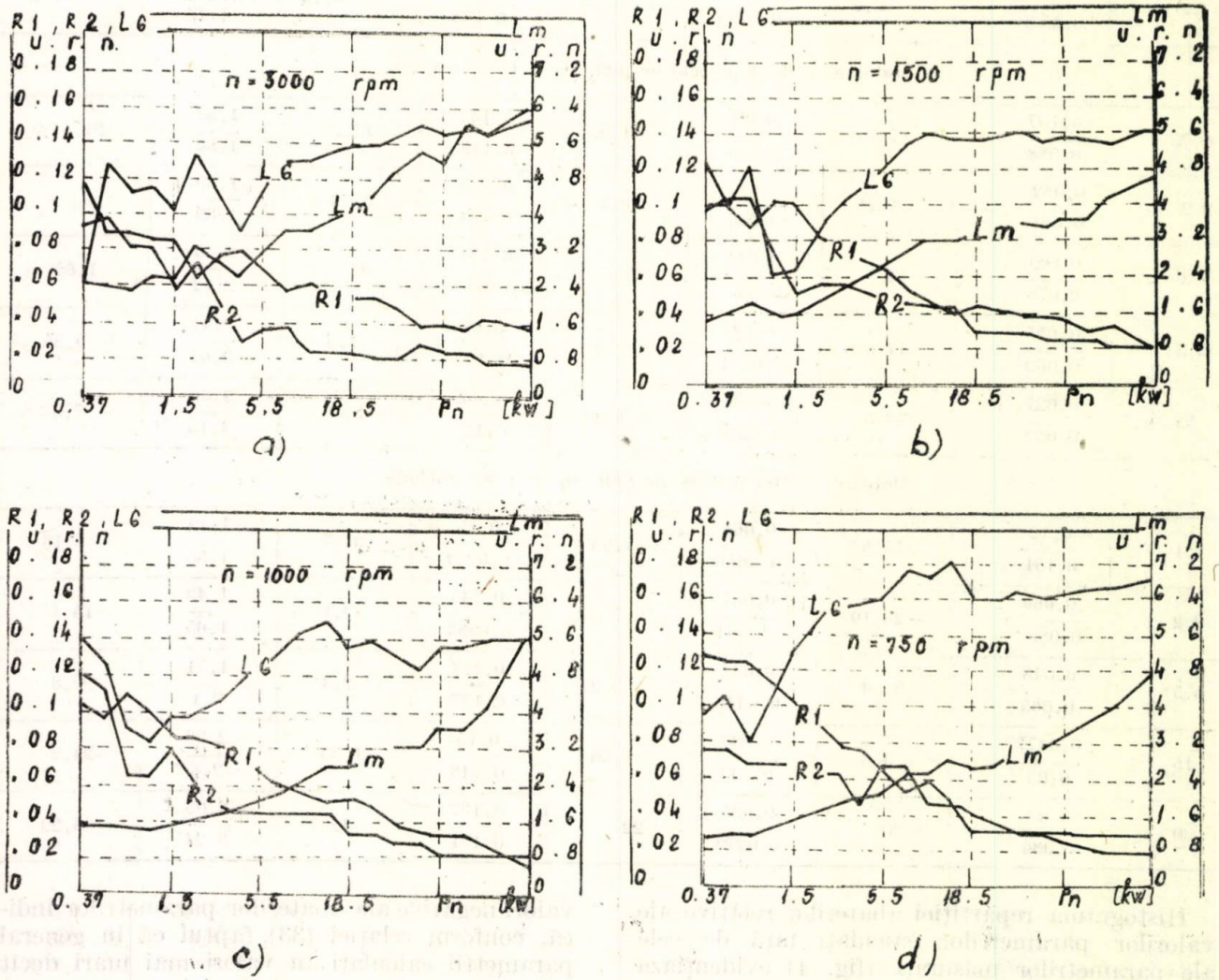


Fig. 5. Valorile parametrilor circuitelor echivalente ale motoarelor de inducție tip ASI în funcție de puterea nominală; a — motoare cu o pereche de poli; b — motoare cu două perechi de poli; c — motoare cu trei perechi de poli; d — motoare cu patru perechi de poli.

toarelor respective cu o aproximație de circa ±25%, conform relației (32).

4. Parametrii circuitelor echivalente ale motoarelor de inducție din seria unitară ASI, determinați pe baza datelor de catalog

Motoarele electrice de inducție cel mai frecvent utilizate în acționările electrice industriale sînt motoarele trifazate cu rotor tip colivie, de joasă tensiune (tensiune nominală 380 V) ce formează seria unitară de motoare de inducție tip ASI.

În cadrul prezentei lucrări, utilizînd relațiile prezentate anterior, au fost determinați parametrii acestei serii de motoare electrice avînd puterile nominale : 0,37; 0,55; 0,75; 1,1; 1,5; 2,2; 3,4; 5,5; 7,5; 11; 15; 18,5; 22; 30; 37; 45; 55; 75 și 90 kW cu una, două, trei și patru perechi de poli, de fabricație indigenă pe baza datelor de catalog ale acestora, prezentate în [5]. Valoriile obținute ale acestor parametri exprimați în u.r.n. sînt prezentate în figura 5, în care în axa absciselor s-au considerat puterile nominale ale acelor 20 de motoare de inducție menționate mai sus, amplasate echidistant pe axă. Prin interpolare liniară au fost completate curbele de variație ale parametrilor, funcție de puterea nominală a motorului.

Acest mod de prezentare a valorilor parametrilor determinate analitic pentru seria de motoare de inducție tip ASI, a fost preferat prezentării tabelare, avîndu-se în vedere, pe de o parte, faptul că valorile obținute au o precizie relativ redusă (± 25%, în jurul valorii reale) și, pe de altă parte, faptul că reprezentarea alurei dependenței parametrilor de tipodimensiunea motorului permite evidențierea unor concluzii utile privind valorile acestor parametri.

Astfel, analizînd valorile obținute pentru parametrii motoarelor de inducție considerate (fig. 5) se remarcă următoarele aspecte :

— valorile rezistențelor înfășurărilor statorică și rotorică reduse la același nivel de tensiune și exprimate în u.r.n., sînt apropiate și aproximativ egale cu alunecarea nominală în cazul motoarelor cu puteri mai mari decît 7,5 kW. În cazul motoarelor mai mici, valorile acestor parametri sînt mai ridicate și cu o dispersie mult mai mare, datorită aproximațiilor și ipotezelor simplificatoare admise inițial;

— inductanța de magnetizare, L_m, prezintă valori ce cresc odată cu creșterea puterii nominale și a turației de sincronism a motorului. Valorile sale prezintă dispersii reduse pentru întreaga gamă de motoare considerată, ceea ce permite stabilirea unor valori medii pentru diverse grupe de motoare ;

— valorile inductanței de dispersie L_σ prezintă fluctuații mari, atît în funcție de

Tabelul 2

Parametrii circuitelor echivalente ale motoarelor de inducție din seria ASI

Grupa de motoare	Puteri nominale (kW)	Valorile parametrilor (în u.r.n.)			
		R'_2 min-max / med.	R_1 min.-max. / med.	L_σ min.-max. / med.	L_m min.-max. / med.
I	0,37—1,1	0,066—0,12 / 0,093	0,086—0,125 / 0,1055	0,06—0,14 / 0,1	1,1—2,5 / 1,8
II	1,5—4	0,03—0,078 / 0,054	0,063—0,1 / 0,0815	0,09—0,16 / 0,125	1,5—3,2 / 2,35
III	5,5—15	0,024—0,065 / 0,0445	0,04—0,068 / 0,054	0,12—0,18 / 0,15	2,1,—3,7 / 2,9
IV	18,5—37	0,02—0,032 / 0,026	0,03—0,053 / 0,0415	0,13—0,16 / 0,145	2,6—3,5 / 3,05
V	45—90	0,017—0,03 / 0,0235	0,02—0,041 / 0,0305	0,133—0,17 / 0,1515	3,4—4,3 / 3,85

puterea nominală, cît și de turația de sincronism, determinate de particularitățile constructive ale fiecărui motor considerat.

Pe baza analizei variației valorilor parametrilor în funcție de puterea nominală a motoarelor de inducție cu rotor cu scurtcircuit, tip ASI, de fabricație românească, determinate pe baza relațiilor prezentate anterior se poate efectua o clasificare a acestor motoare în funcție de valorile parametrilor circuitelor echivalente în cinci grupe, pentru care s-au stabilit valorile extreme (minimă și maximă) și media parametrilor, valori prezentate în tabelul 2.

Informațiile conținute în tabelul 2 permit, atît estimarea valorii parametrilor circuitelor echivalente ale motoarelor de inducție în funcție de puterea lor nominală, cît și a plajei de valori admise de parametrii respectivi. O apreciere mai riguroasă a parametrilor motoarelor de inducție tip ASI se efectuează însă pe baza graficelor din figura 5, în care se consideră și numărul de perechi de poli ai motoarelor respective.

Concluzii

Prezenta lucrare demonstrează posibilitatea estimării parametrilor circuitelor echivalente ale motoarelor de inducție cu rotor în scurtcircuit pe baza datelor de catalog ale acestora, prezentînd relațiile și algoritmele de calcul corespunzătoare.

Relațiile de calcul pentru valorile acestor parametri au fost validate prin compararea valorilor parametrilor obținute analitic cu cele ale parametrilor similari obținute prin încercări de mers în gol și scurtcircuit pentru un lot de motoare de inducție din producția 1987 a Intreprinderii „Electromotor" Timișoara. Abaterile relative ale parametrilor determinați prin calcul față de cei măsurați au avut în majoritatea situațiilor valori cuprinse între $\pm 25\%$, abateri mai mari înregistrîndu-se în cazul motoarelor mici.

Pentru seria unitară de motoare de inducție cu rotor în scurtcircuit tip ASI au fost determinate valorile parametrilor și prezentate sub forma unor diagrame și tabelar cu precizarea valorii medii și a plajei de valori ale parametrilor.

Bibliografie

[1] Dordea, T. *Mașini electrice.* Editura Didactică și Pedagogică, București, 1977.

[2] Galan, N. Ghița, C., Cistelecan, M. *Mașini electrice.* Editura Didactică și Pedagogică, București, 1981.

[3] Hore, R. A. *Metode moderne de calcul și proiectare a sistemelor electrice.* Editura Tehnică, București, 1970.

[4] Novac, I. ș.a. *Mașini și acționări electrice.* Editura Didactică și Pedagogică, București, 1982.

[5] Răduți, C., Nicolescu, E. *Mașini electrice rotative fabricate în România.* Editura Tehnică, București, 1981.

[6] Saal, C., Szabo, W. *Sisteme de acționare electrică. Determinarea parametrilor de funcționare.* Editura Tehnică, București, 1981.

(Primit la 27 octombrie 1988, acceptat la 29 martie 1989)

Corelația dintre încărcarea termică a brîului arzătoarelor și temperatura flăcării la focarele cazanelor de abur funcționînd cu praf de cărbune

Dr. ing. GEORGE CHERCEA, sing. CRĂIȚA MANGU*

Descriptori: cazane de abur cu praf de cărbune, cîmpuri termice, arzătoare

CZ : 621.311.18 : 621.311.87 : 662.87

În articol se prezintă semnificația încărcării termice a brîului de arzătoare și a încărcării termice a zonei active de ardere pentru focarele cazanelor de abur funcționînd cu praf de cărbune. În continuare se prezintă relația dintre aceste două mărimi, precum și valorile recomandate pentru aceste încărcări. Pentru cele două încărcări este găsită și o semnificație fizică exprimată prin tempertura gazelor de ardere la ieșirea din zona activă, prezentîndu-se factorii care influențează această temperatură și modul în care se manifestă influența ei asupra unor detalii de concepție și funcționare ale cazanului de abur.

The significance of the thermal load of the burners' belt and of the active burning zone for pulverized coal fired steam boiler furnaces is presented. Further, the relationship between these two quantities as well as the values recommended for these loads are shown. A physical significance for these two loads expressed by the flue gases temperature at the exit of the active zone is found. The factors which influence this temperature and its influence on some concept and operational steam boiler details are discussed further.

Valoarea înălțimii unei grupe de arzătoare cu jet se alege, în cazul focarelor cu evacuarea zgurii în stare granulată, astfel încît „încărcarea termică a brîului arzătoarelor" și „încărcarea termică a zonei active de ardere" să nu depășească anumite valori stabilite experimental.

Încărcarea termică a suprafeței brîului arzătoarelor reprezintă suma cantităților de căldură conținute în :

— combustibili : $B_f \cdot Q_i$,

unde : B_f este cantitatea de cărbune introdusă în focar, kg/s ;

Q_i este puterea calorifică inferioară a cărbunelui, kJ/kg ;

— aerul de ardere : $n_0 B_f m_{L_0} i_L$;

unde : n_0 este coeficientul de exces de aer în focar ;

m_{L_0} — cantitatea de aer minim necesară arderii, kg/kg ;

i_L — entalpia aerului de ardere, kJ/kg.

Deci dacă se raportează această cantitate de căldură la suprafața „brîului arzătoarelor" se obține valoarea încărcării termice a brîului arzătoarelor :

$$q_B = B_f \frac{Q_i + n_0 m_{L_0} i_L}{4\ l_{f\ med.} \cdot h_{arz.}}, \qquad (1)$$

unde : $l_{f\ med.}$ este lungimea medie a laturilor focarului, m ;

$h_{arz.}$ — înălțimea grupei de arzătoare, m.

Încărcarea termică a zonei active de ardere este o mărime introdusă de Zelkowski [1]. Ea reprezintă suma cantităților de căldură produsă efectiv în zona activă de ardere și conținută în aerul de ardere, deci :

$$B_f Q_i \xi + n B_f m_{L_0} i_L,$$

unde : ξ este gradul de ardere în zona activă (cota de combustibil ars în zona activă), kg/kg.

Suma de mai sus este raportată la „suprafața zonei active",

$$A_{act.} = 4\ l_{f\ med} \cdot h_{act.} - \Sigma A_{arz.} + 1{,}5\ l^2_{f\ med.},$$

unde : $h_{act.}$ este înălțimea zonei active de ardere, m ;

$\Sigma A_{arz.}$ — suma suprafețelor ambrazurilor arzătoarelor, m² ; deci la suprafața de încălzire care primește căldura dezvoltată în zona activă de ardere (fără suprafața arzătoarelor, dar cu o suprafață echivalentă cu secțiunea focarului și secțiunea pîlniei reci).

Observînd relația (1), poate fi scrisă dependența analitică dintre încărcarea termică a

* Dr. ing. George Chercea, ing. Crăița Mangu — Institutul de Cercetări și Modernizări Energetice, București.

brîului arzătoarelor și încărcarea termică a zonei active de ardere:

$$q_B = q_{act.}\left(\frac{h_{act.}}{h_{arz.}} + \frac{1{,}5\ l^2_{f\,med} - \Sigma A_{arz.}}{4\ l_{f\,med.} h_{arz.}}\right) + \frac{BQ_i(1-\xi)}{4\ l_{f\,med.} h_{arz.}}, \quad \text{kW (sau MW)/m.} \qquad (2)$$

O dificultate care se cere depășită este stabilirea valorii $h_{act.}$. Zelkowski recomandă [1]:

$$h_{act.} = h_{arz.} + 2m,$$

valoare care concordă cu date experimentale obținute la focare funcționînd cu lignit sau huilă.

A doua dificultate este determinarea gradului de ardere. În acest caz cea mai lesnicioasă cale este cea prezentată de Dolezal [2].

În tabelul 1 se prezintă, după surse cît mai recente, valorile recomandate pentru mărimile q_B și $q_{act.}$

Datele din tabelul 1 au fost prelucrate după Zelkowski [1], Dolezal [2] și Netz [3, 4].

Tabelul 1

Încărcare termică a brîului arzătoarelor q_B și a zonei active de ardere q_{act}

	q_B[MW/m²]	q_{act}[MW/m²]
Focare funcționînd cu praf de huilă:		
— cazane cu putere mare	1,1—1,3	
— cazane cu putere mică	1,7—1,9	
— pentru cărbune cu tendință de zgurificare	—	circa 1 —1,1
— pentru cărbune fără tendință de zgurificare	—	circa 1,3—1,4
Focare funcționînd cu lignit:		
— cazane cu putere mare	1,1—1,3	0,8—0,9

Încărcările q_B și $q_{act.}$ sînt mărimi orientative stabilite empiric. După cum se va vedea în continuare, aceste mărimi au și o semnificație fizică importantă.

Întocmind bilanțul termic al zonei active de ardere se obține:

$$B_f Q_i \xi + B_f n_0 m_{L_0} i_L = B_f \xi m_G i_G + Q_{rad}, \qquad (3)$$

unde: m_G este cantitatea de gaze rezultate din ardere, kg/kg;
i_G — entalpia gazelor de ardere la ieșirea din zona activă, kJ/kg;
Q_{rad} — cantitatea de căldură transmisă prin radiație în zona activă, kW.

Se poate constata că bilanțul termic s-a întocmit neglijînd căldura fizică a cărbunelui și a cenușii, precum și cantitatea de căldură transmisă prin convecție. S-a ținut însă cont că întreaga cantitate de cărbune introdus nu arde complet, ci numai o cotă ξ. Cu cît cărbunele este mai reactiv, cu cît este mai fin măcinat și cu cît este mai mare zona activă de ardere, cota ξ este mai mare. Întrucît nu arde tot cărbunele introdus în focar, în zona în care s-a făcut bilanțul există o diferență între coeficientul real de exces de aer n și cel pentru întregul focar n_0:

$$n = \frac{n_0}{\xi}. \qquad (4)$$

Cantitatea de gaze de ardere este [5]:

$$m_G = n m_{L_0} + 1 - \frac{A_t}{100},$$

unde: A_t este conținutul de cenușă al cărbunelui raportat la starea inițială, %.

Entalpia aerului se introduce ca entalpie medie a aerului primar și secundar:

$$i_L = \frac{m_{L_1}}{m_{L_1} + m_{L_2}} i_{L_1} + \frac{m_{L_2}}{m_{L_1} + m_{L_2}} i_{L_2}, \qquad (5)$$

unde: m_{L_1} este cantitatea de aer primar, kg/kg:
m_{L_2} — cantitatea de aer secundar, kg/kg;
i_{L_1} — entalpia aerului primar, kJ/kg;
i_{L_2} — entalpia aerului secundar, kJ/kg.

Întrucît temperatura gazelor din focar este mult mai mare decît temperatura peretelui, se poate considera:

$$Q_{rad} = A_{act.}\sigma_0 \varepsilon \left(\frac{t_G + 273}{100}\right)^4, \qquad (6)$$

unde: σ_0 este cifra Bolzmann, kW/m²K⁴;
ε — coeficientul de emisie;
t_G — temperatura gazelor la ieșirea din zona activă de ardere, °C.

Din relația (3) se obține entalpia gazelor de ardere la ieșirea din zona activă de ardere:

$$i_G = \frac{1}{\xi m_G}\left[Q_i \xi + n_0 m_{L_0} i_L - \frac{A_{act.}\sigma_0 \varepsilon}{B_f}\left(\frac{t_G + 273}{100}\right)^4\right] \qquad (7)$$

sau

$$t_G = \frac{1}{c_{p_G}(nm_{L_0} + 1 - A_i/100)\xi} \cdot$$

$$\cdot \left[\xi Q_i + nm_{L_0} c_{p_L} t_L - \frac{A_{act}\sigma_0 \varepsilon}{B_f}\left(\frac{t_G + 273}{100}\right)^4\right], \quad (8)$$

unde: c_{p_G} este căldura specifică medie a gazelor de ardere între 0°C și t_G, kJ/kgK;

c_{p_L} — căldura specifică medie a aerului de ardere între 0°C și t_L, kJ/kgK;

t_L — temperatura medie a aerului de ardere, corespunzătoare definiției din relația (5), °C.

Se constată că temperatura gazelor de ardere la ieșirea din zona activă de ardere va fi cu atît mai coborîtă cu cît suprafața A_{act}, care absoarbe energia radiată în această zonă, este mai mare. Valoarea acestei suprafețe influențează, de asemenea, și asupra încărcării termice a brîului arzătoarelor, respectiv a zonei active de ardere. Cu cît vor fi mai reduse încărcările brîului arzătoarelor și ale zonei active de ardere cu atît va fi mai probabilă o valoare mai coborîtă a temperaturii gazelor de ardere în focar. Unii autori [1, 2] folosesc termenul de „temperatura flăcării" (introdus și în titlul articolului de față). Opinăm că utilizarea acestui termen nu este corectă, noțiunea de „temperatură a flăcării" implicînd și anumite caracteristici legate de transferul căldurii prin radiație [5]. Deși mai incomod, vom folosi în continuare termenul de „temperatură a gazelor de ardere".

Mai trebuie observat că temperatura gazelor de ardere la ieșirea din zona activă de ardere este influențată și de alți factori, și anume:

— gradul de ardere a cărbunelui în zona activă de ardere;

— puterea calorifică inferioară a cărbunelui;

— conținutul de cenușă care acționează atît direct, cît și indirect, prin intermediul coeficientului de emisie.

Pentru a fixa ideile, au fost efectuate cîteva calcule de tatonare, ale căror rezultate conduc la constatările prezentate în continuare.

Huila necesită un timp de ardere a cocsului rezidual mai mare. Din acest motiv este de așteptat ca gradul său de ardere în zona activă de ardere să fie mai mic, în comparație cu lignitul. Gradul de ardere al huilei este dependent de mărimea focarului. Astfel, în focarul cazanului unui bloc de 100 MW o huilă (suficient de reactivă) va arde în zona activă de ardere doar într-o proporție de 3/4. În focarul cazanului unui bloc de 600 MW, gradul de ardere în zona activă depășește 90%.

Temperatura gazelor de ardere la ieșire din zona activă, pentru o anumită înălțime a grupei de arzătoare este cu atît mai mare cu cît focarul este mai mare.

În plus, mai pot fi făcute următoarele constatări interesante:

— creșterea temperaturii datorită creșterii puterii blocului (măririi focarului) este mai importantă în cazul huilei decît în cazul lignitului. Deci în cazul huilei arzătoarele vor fi mai depărtate unul de celălalt decît în cazul lignitului;

— înălțimea arzătoarelor pentru care se realizează aceeași temperatură t_G crește mai repede decît puterea cazanului, în special în domeniul 100—300 MW (puterea blocului). Deci focarele mari cu evacuarea zgurii în stare granulată vor fi mai sensibile față de fenomenul de zgurificare decît cele mici;

— întrucît gradul de ardere în zona activă a cazanelor mari este mai mare decît la cele mici, pentru desăvîrșirea arderii, spațiul necesar (distanța dintre arzătoare și suprafețele paravan) va fi la focarele mici relativ mai mare decît la cele mari.

Mai trebuie observat că temperatura gazelor la ieșirea din zona activă de ardere se situează în domeniul în care sînt de așteptat modificări structurale ale cenușii (1200—1300°C). La focarele mari, temperatura se apropie deseori de limita periculoasă.

Înălțimea arzătoarelor calculată din încărcarea termică a brîului arzătoarelor q_B și din încărcarea zonei active de ardere q_{act} este în mod normal, mult mai mare decît suma dimensiunilor verticale ale deschiderilor ambrazurilor. Acest fapt ridică o problemă dificilă: amplasarea ambrazurilor arzătoarelor cu jet sau adoptarea gradului de turbionare a arzătoarelor turbionare. Concepția unui arzător poate fi făcută pe baza unor date empirice, dar și prin analiză numerică [1].

Trebuie semnalate cîteva fapte importante. O ardere intensivă, care conduce la un grad de ardere ridicat nu este de dorit din punctul de vedere al formării oxizilor de azot. Cu cît un cărbune este mai reactiv, cu atît el se va aprinde și va arde mai aproape de ambrazură, fiind necesară o încălzire mai puțin importantă pentru a atinge temperatura de aprindere. Pentru a asigura o ardere intensivă a unui cărbune cu reactivitate ridicată este favorabilă o grupare compactă a ambrazurilor pentru amestec și aerul secundar.

Pentru cărbunele cu reactivitate mai coborîtă, în vederea aprinderii, este necesară o încălzire la o temperatură mai ridicată și cu un caracter mai intens. Această încălzire poate necesita existența unei recirculări a gazelor de ardere din focar spre ambrazură. Pentru a asi-

gura concentrația de materii volatile necesară aprinderii este posibil ca amestecul jeturilor primar și secundar să poată fi efectuat doar după aprindere. În aceste condiții ambrazurile pentru amestec și aerul secundar vor fi mai depărtate una de alta, iar construcția arzătorului va fi mai puțin compactă.

Concluzii

Din cele arătate mai sus pot fi desprinse următoarele concluzii.

1. Încărcarea termică a brîului arzătoarelor și încărcarea termică a zonei active de ardere sînt mărimi importante de dimensionare și/sau verificare a focarelor cazanelor de abur funcționînd cu praf de cărbune.

2. Cele două mărimi sînt independente valoric, dar avînd semnificații diferite nu pot fi înlocuite una prin cealaltă.

3. Cele două mărimi nu au un caracter strict empiric. Ele au și o semnificație termodinamică, definind temperatura gazelor de ardere le ieșirea din zona activă de ardere a focarului.

4. Corelarea datelor experimentale și da exploatare cu cele două încărcări termice poate să ofere informații prețioase pentru concepția și exploatarea sigură și economică a focarelor cazanelor de abur funcționînd cu praf de cărbune.

Bibliografie

[1] Zelkowski, I. *Kohleverbrennung.* Verlag VGB „Kraftwerkstechnik", Essen, 1986.

[2] Dolezal, R. *Dampferzeugung.* Springer — Verlag, Berlin, 1983.

[3] Netz, H. *Verbrennung und Gasgewinnung bei Festbrennstoffen.* Resch — Verlag, Gräfelfing, 1982.

[4] Netz, H. *Betriebstaschenbuch Wärme, 2. Auflage* Resch — Verlag, Grafelfing, 1983.

[5] Schumacher, A., Waldmann H. *Wärme—und Strömungstechnik im Dampferzeugerbau.* Vulkan — Verlag, Essen, 1972.

(Primit la 15 august 1988, acceptat la 13 aprilie 1989)

Cercetări pe stand asupra eroziunii produse de cenușă asupra schimbătoarelor de căldură la cazane

Dr. ing. MAGDALENA MATEI, as. ing. ION OPREA, ing. NICOLAE MANEA, ș.l. dr. ing. LUCIAN MIHĂESCU, sing. GHEORGHE HAȘCĂU, conf. dr. ing. NICOLAE PĂNOIU, ing. CRISTINA DICU, ing. FLORIN RAICU*

Descriptori : schimbătoare de căldură, eroziuni, cenușă de ardere

CZ : 621.3.046.2 : 621.9.018.3

Utilizarea combustibililor solizi cu un ridicat conținut de cenușă, cum sînt majoritatea cărbunilor bruni și șisturilor bituminoase din țara noastră, ridică probleme privind erodarea țevilor schimbătoarelor de căldură, în special în zona economizoarelor. Lucrarea prezintă rezultate ale cercetării fenomenului pe un stand experimental, precum și aplicarea în practică a unor concluzii desprinse.

The use of high ash content solid fuels, such as the most lignites and oil shales of our country, causes erosion problems at the heat exchanger tubes, mainly in the economizers' area. This phenomenon was studied on an experimental test stand and the conclusions reached found practical applications.

Introducere

Utilizarea combustibililor solizi cu conținut ridicat de steril generează o serie de dificultăți majore în exploatarea cazanelor de abur, printre care și acela al apariției unor spargeri de țevi în special în zona economizoarelor, datorită intensificării fenomenului de eroziune de către cenușă. Ca urmare, înrăutățirea calității combustibililor față de valorile de proiectare are drept consecință accelerarea procesului de uzură erozivă a suprafețelor de transfer termic, ceea ce conduce la scăderea fiabilității și disponibilității blocurilor energetice.

Studiul posibilităților de reducere a eroziunii suprafețelor de transfer termic ale cazanelor implică cunoașterea influenței diferiților factori care determină intensitatea acestui proces, factori care pot fi clasificați după cum urmează :

— factori constructivi : forma constructivă a canalelor gazelor de ardere, geometria

* Ing. Magdalena Matei — ICEMENERG, as. ing. Ion Oprea, ș. l. dr. ing. Lucian Mihăescu, conf. dr. ing. Nicolae Pănoiu — Facultatea de Mecanică, Institutul Politehnic București, ing. Nicolae Manea, sing. Gheorghe Hașcău, ing. Cristina Dicu, ing. Florian Raicu — ICSITEE București.

fasciculelor de țevi, materialul din care sînt executate țevile, geometria focarului;

— factori de funcționare: viteza gazelor de ardere, respectiv a particulelor de cenușă, concentrația cenușii în gazele de ardere, gradele de neuniformitate ale cîmpurilor de viteze și ale concentrațiilor cenușii pe secțiunea canalului gazelor de ardere, timpul de funcționare;

— factori care depind de caracteristicile combustibilului: conținut de cenușă, abrazivitatea cenușii, care la rîndul său depinde de dimensiunea, forma, compoziția chimico-mineralogică și duritatea particulelor.

În condiții de exploatare factorii din ultimele două categorii sînt variabili, variația acestora fiind adesea necontrolabilă, astfel încît durata de viață a țevilor suprafețelor de transfer termic nu poate fi determinată cu precizie, avînd un caracter probabilistic.

Studiul procesului de uzură a țevilor datorită cenușii a reprezentat subiectul a numeroase articole din literatura de specialitate [1—24], care prezintă atît influența factorilor constructivi și de funcționare ai cazanelor, cît și a celor care depind de caracteristicile cenușii combustibilului asupra intensității fenomenului de eroziune.

1. Prezentarea standului și a condițiilor în care s-au desfășurat experimentările

Studiul influenței acestor factori în condițiile dispunerii în linie și alternată a țevilor s-a efectuat pe un stand a cărui schemă este prezentată în figura 1. Aerul la temperatura mediului ambiant, introdus de ventilatorul *1*, parcurge tronsonul orizontal prevăzut cu tubul Venturi *2* și, în zona tronsonului prevăzut cu ejector *5* situat sub buncărul de alimentare cu cenușă *3* prevăzut cu clapetă de reglare a debitului *4*, se transformă în fluid purtător al cenușii; în continuare amestecul bifazic parcurge tronsoanele prevăzute cu epruvete de încercare la uzură *6* și ajunge în ciclonul separator *7*, care realizează separarea și evacuarea cenușii *8*, aerul fiind evacuat în atmosferă *9*.

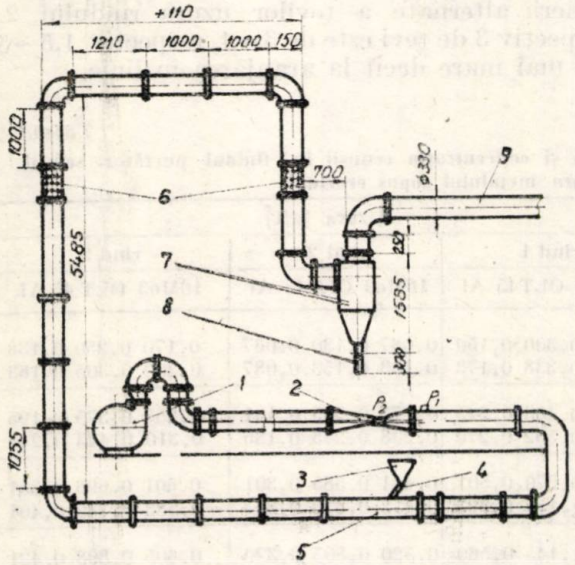


Fig. 1. Schema standului experimental pentru determinarea abrazivității cenușii de lignit: 1 — ventilator de aer (debit 1,23 m³/s, presiune 4365 N/m²); 2 — tub Venturi; 3 — buncăr de alimentare cu cenușă; 4 — clapetă de reglare a debitului de cenușă; 5 — tronson prevăzut cu ejector; 6 — tronson avînd montate epruvete; 7 — ciclon separator; 8 — evacuarea cenușii reținute de ciclon; 9 — evacuarea în atmosferă a aerului de transport.

În tronsoanele speciale ale standului au fost montate epruvete de metal supuse eroziunii, avînd o lungime de 30 mm dispuse în linie și alternat; diametrul exterior al epruvetelor (32 mm), grosimea pereților acestora (4 mm), pasul transversal (80 mm) și pasul longitudinal dintre țevi (60 mm) au fost astfel alese încît să reprezinte valorile curent utilizate la proiectarea economizoarelor.

Pentru a urmări influența tipului de metal din care sînt confecționate țevile asupra intensității uzurii erozive datorate cenușii au fost testate concomitent trei tipuri de materiale: oțel carbon OLT 45 KIII — material uzual pentru țevile economizoarelor cazanelor de abur românești, oțel aliat 16M03 — utilizat în ultimul timp pentru confecționarea țevilor economizoarelor, ca urmare a reducerii duratei de viață a acestora în cazul folosirii oțelurilor nealiate și aluminiu — pentru a corela rezultatele obținute pe acest stand cu datele stabilite pe o instalație de laborator.

Experimentările s-au efectuat cu cenușă prelevată de la buncărul de cenușă uscată de la un cazan de 1035 t/h.

Caracteristicile cenușii au fost următoarele:

— granulație: R_{200} — 12%, R_{125} — 30%, R_{90} — 46%, R_{50} — 72%;

— pierderi la calcinare: 3,27%;

— compoziție chimică: SiO_2 amorf — 49,37%: SiO_2 cuarț — 5,43%, Fe_2O_3 — 9,70%, Al_2O_3 — 17,94%, CaO — 6,1%, MgO — 3,33%, SO_3 — 0,65%, Na_2O — 1,35%, K_2O — 2,12% TiO_2 — 0,52%.

Cantitatea de cenușă prelevată a fost suficientă pentru ca probele să se desfășoare în circuit deschis, cenușa parcurgînd o singură dată instalația, fără a mai fi reintrodusă în circuit. Aceasta a asigurat menținerea constantă a caracteristicilor granulometrice ale cenușii pe întreaga durată a experimentărilor, în acest mod eliminîndu-se influența factorilor legați de caracteristicile cenușii asupra intensității procesului de eroziune.

În timpul probelor s-au urmărit și înregistrat următorii parametri:

— debitul de aer introdus în ventilator [m³/h];

— cantitatea de cenușă utilizată în cursul unei probe [kg];

— durata probei [ore];

— uzura epruvetelor supuse eroziunii (g) stabilită prin diferența între cîntărirea inițială și după probă a acestora pe o balanță analitică, cu precizie de 10^{-4} g;

— variația vitezei cenușii pe secțiunea determinată prin măsurători cu tuburi Pitot-Prandtl;

— variația concentrației cenușii determinată prin măsurători cu sonda izocinetică.

Încercările la eroziune a țevilor au urmărit determinarea caracteristicilor abrazive ale cenușii în condițiile varierii pe rînd a concentrației de cenușă (μ) și vitezei fluidului purtător (v) între anumite limite la așezarea țevilor în linie și alternată pe tronsoane în care amestecul aer-cenușă circulă în sens ascendent și descendent.

3. Interpretarea rezultatelor

3.1. Influența modului de dispunere a țevilor în fascicul

Experimentările desfășurate în aceleași condiții de viteză și concentrație a cenușii în amestecul bifazic au arătat că, în cele două situații de amplasare a epruvetelor metalice — în linii și alternată (vezi probele 1 și 3, comparativ cu probele 5 și 6), atît în cazul circulației ascendente, cît și în cel al circulației descendente a amestecului aer-cenușă se obțin valori apropiate ale uzurilor primului rînd de țevi; pentru rîndurile 2 și 3, însă, se înregistrează uzuri mult mai mari în cazul dispunerii alternate a țevilor comparativ cu aranjarea în linie.

Tabelul 1

Condițiile de desfășurare a experimentărilor

Parametrii	Simbol	U.M.	Număr probă					
			1	2	3	4	5	6
Dispunere țevi	—	—	linie	linie	linie	linie	alternată	alternată
Debit aer	D	m^3/s	0,36	0,46	0,68	0,68	0,36	0,68
Diferență presiune	Δp	mmH_2O	15	26	50	50	15	50
Concentrație cenușă	μ	g/m^3	70	70	70	110	70	70
Viteze	v	m/s	9,32	11,76	17,39	17,39	9,32	17,39

2. Rezultatele experimentărilor

În tabelul 2 este prezentată uzura metalului datorită eroziunii de către cenușă exprimată în grame metal erodat la 1 t cenușă în condiții variabile de viteză și concentrație a cenușii în amestecul bifazic, la vehicularea sa în sens ascendent și descendent, în situațiile amplasării alternate și în linie a țevilor.

Uzura epruvetelor de oțel OLT 45 KIII la dispunerea alternată și în linie a țevilor corespunzătoare unei concentrații de 70 g cenușă/m^3 aer pentru viteze ale amestecului bifazic de 9,32 și 17,39 m/s este prezentată în figura 2.

Datele experimentale arată că în cazul dispunerii alternate a țevilor uzura rîndului 2, respectiv 3 de țevi este de 3—4, respectiv 1,5—3 ori mai mare decît la aranjarea în linie.

Tabelul 2

Uzura metalului datorită eroziunii de către cenușă funcție de viteza și concentrația cenușii în fluidul purtător, sensul de curgere al agentului eroziv și natura metalului supus eroziunii

Nr. probă	Așezare	Viteza [m/s]	Concentrație [g/m³]	Sens	Uzura [g/t]					
					rînd 1		rînd 2		rînd 3	
					16Mo3	OLT45 Al	16Mo3	OLT45 Al	16Mo3	OLT 45 Al
1	linie	9,30	70	ascendent	0,190	0,300 0,150	0,087	0,130 0,067	0,170	0,250 0,138
				descendent	0,223	0,338 0,173	0,103	0,153 0,087	0,200	0,305 0,163
2	linie	11,76	70	ascendent	0,320	0,463 0,225	0,175	0,235 0,101	0,256	0,375 0,195
				descendent	0,390	0,562 0,270	0,208	0,285 0,135	0,310	0,443 0,241
3	linie	17,39	70	ascendent	0,700	0,970 0,501	0,401	0,585 0,301	0,501	0,693 0,351
				descendent	0,802	1,157 0,593	0,473	0,673 0,357	0,583	0,780 0,401
4	linie	17,39	110	ascendent	0,790	1,145 0,560	0,520	0,805 0,320	0,605	0,898 0,421
				descendent	0,903	1,348 0,660	0,625	0,884 0,403	0,701	1,005 0,498
5	alternată	9,32	70	ascendent	0,205	0,287 0,169	0,360	0,527 0,253	0,255	0,405 0,215
				descendent	0,262	0,350 0,199	0,410	0,603 3,157	0,327	0,465 0,265
6	alternată	17,39	70	ascendent	0,673	1,005 0,520	1,305	1,875 0,953	1,503	2,175 1,053
				descendent	0,792	1,187 0,623	1,506	2,205 1,184	1,702	2,502 1,215

La creşterea vitezei amestecului bifazic de la 9,32 la 17,39 m/s se constată o creştere a uzurii relative a epruvetelor metalice din rîndul 3 la dispunerea alternată a ţevilor faţă de cea în linie.

În condiţiile experimentărilor, în cazul aşezării în linie a ţevilor, uzurile rîndului 2, res-

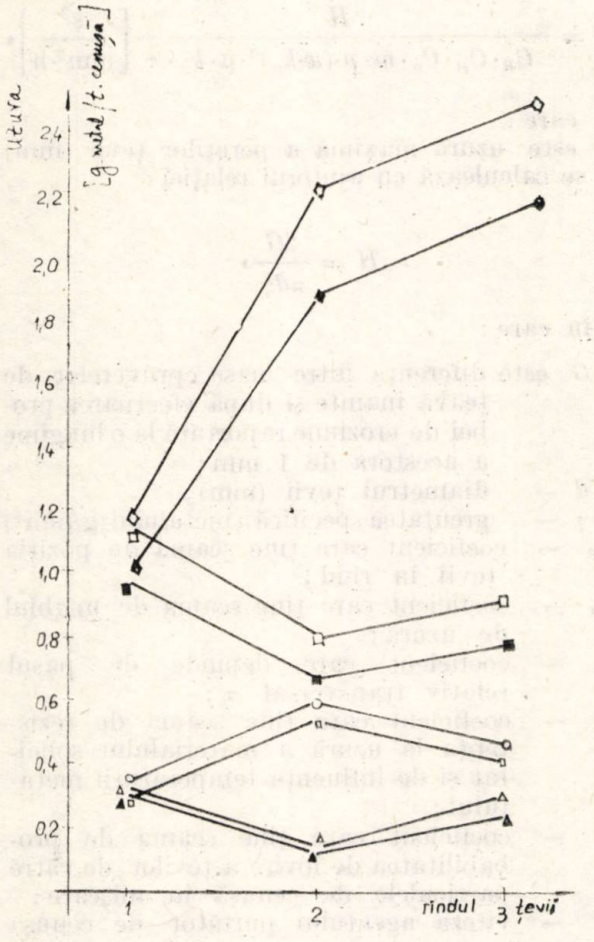


Fig. 2. Influenţa modului de aranjare a ţevilor în fascicul asupra eroziunii metalului (concentraţie cenuşă 70 g/m³, epruvetă OLT 45 K III); □ — aşezare alternată, sens ascendent, viteza 9,32 m/s; ○ — aşezare alternată, sens descendent, viteza 9,32 m/s; ■ — aşezare alternată, sens ascendent, viteza 17,39 m/s; ▭ — aşezare alternată, sens descendent, viteza 17,39 m/s; ▲ — aşezare în linie, sens ascendent, viteza 9,32 m/s; Δ — aşezare în linie, sens descendent, viteza 9,32 m/s; ◆ — aşezare în linie, sens ascendent, viteza 17,39 m/s; ◇ — aşezare în linie, sens descendent, viteza 17,39 m/s.

pectiv 3, sînt cu 30—56%, respectiv cu 8—30% mai scăzute decît cea a rîndului 1, în timp ce în situaţia aranjării alternate a ţevilor în fascicul uzurile rîndului 2, respectiv 3, cresc cu 50—97%, respectiv 24—123%, faţă de cea corespunzătoare rîndului 1.

Valorile mai mari ale uzurii obţinute în rîndul 3 comparativ cu rîndul 2 de ţevi se explică prin faptul că rîndul 3 este ultimul rînd de ţevi montat în tronsonul experimental şi este spălat în mai mare măsură de amestecul bifazic comparativ cu ţevile rîndului 2.

3.2. Influenţa sensului de circulaţie a amestecului bifazic

După cum era de aşteptat, datele experimentale obţinute au arătat că, în condiţii similare de desfăşurare a probelor, uzura epruvetelor montate în tronsonul de conductă în care amestecul aer-cenuşă circulă în sens ascendent este mai mică decît cea corespunzătoare epruvetelor metalice montate în tronsonul în care circulaţia amestecului bifazic se execută în sens descendent.

Prin amplasarea ţevilor în sens ascendent de circulaţie a amestecului bifazic se reduce uzura datorită eroziunii cu 9 — 25% — medie 15%.

3.3. Influenţa vitezei amestecului bifazic

Intensitatea procesului de eroziune datorat cenuşii este proporţională cu pătratul vitezei agentului purtător şi cu viteza particulelor, astfel încît practic este proporţională cu viteza la puterea a treia.

Dependenţa uzurii metalului de viteza amestecului aer-cenuşă a fost urmărită experimental în condiţiile menţinerii concentraţiei cenuşii de 70 g/m³ pentru valori ale vitezei ameteculului

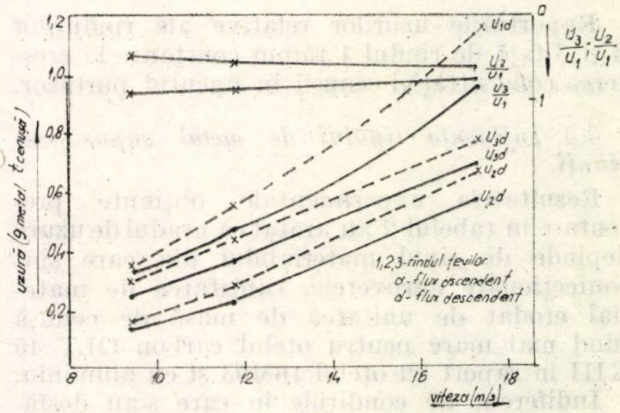


Fig. 3. Variaţia uzurii funcţie de viteza amestecului aer-cenuşă la dispunerea în linie a ţevilor corespunzătoare unei concentraţii de cenuşă de 70 g/m³ — epruvete OLT 45 KIII.

de 9,32, 11,76 şi 17,39 m/s în cazul dispunerii în linie a ţevilor şi la valori ale vitezei de 9,32 şi 17,39 m/s în cel al aranjării alternate a ţevilor. Reprezentarea grafică a acestei dependenţe în cazul aranjării în linie a ţevilor la epruvetele confecţionate din oţel OLT 45 KIII este prezentată în figura 3. În ceea ce priveşte influenţa vitezei asupra uzurii relative a rîndurilor 2 şi 3 de ţevi în raport cu rîndul 1, se constată că mărirea vitezei amestecului are ca efect o uşoară creştere a raportului U_2/U_1 şi o uşoară scădere a raportului U_3/U_1.

3.4. Influenţa concentraţiei cenuşii în agentul purtător

Influenţa concentraţiei cenuşii asupra intensităţii procesului de eroziune a fost urmărită

prin determinarea uzurii metalului la valori ale concentrației cenușii de 70 și 110 g/m³ la o viteză de 17,39 m/s la dispunerea în linie a țevilor.

Rezultatele experimentale obținute în cazul confecționării epruvetelor din OLT 45 KIII sînt prezentate grafic în figura 4.

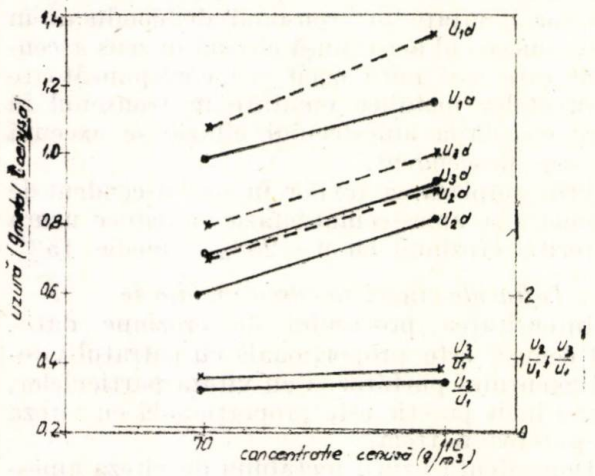


Fig. 4. Variația uzurii funcție de concentrația cenușii, pentru dispunerea în linie a țevilor, pentru o viteză a cenușii de 17,39 m/s, epruvete OLT 45 KIII.

Raporturile uzurilor relative ale rîndurilor 2 și 3 față de rîndul 1 rămîn constante la creșterea concentrației cenușii în agentul purtător.

3.5. Influența tipului de metal supus eroziunii

Rezultatele experimentale obținute prezentate în tabelul 2 au arătat că gradul de uzură depinde de tipul materialului din care sînt confecționate epruvetele, cantitatea de material erodat de unitatea de masă de cenușă fiind mai mare pentru oțelul carbon OLT 45 KIII în raport cu oțelul 16M03 și cu aluminiu.

Indiferent de condițiile în care s-au desfășurat testările raporturile relative între uzura epruvetelor din oțel 16M03, respectiv aluminiu, și uzura epruvetelor din oțel OLT 45 KIII sînt aproximativ constante, fiind circa 0,68, respectiv 0,51.

4. Stabilirea coeficientului de abrazivitate a cenușii

Coeficientul de abrazivitate a cenușii reprezintă o caracteristică a agentului eroziv care depinde de dimensiunile, forma, compoziția chimico-mineralogică și duritatea particulelor componente; prin urmare, valorile coeficientului de abrazivitate al unui anumit tip de cenușă trebuie să coincidă, indiferent de condițiile în care au avut loc măsurătorile. Pe baza datelor experimentale obținute pentru valorile uzurii oțelului carbon OLT 45 KIII corespunzătoare epruvetelor montate în rîndul 1 în sens ascendent și descendent de circulație a erodentului s-a calculat coeficientul de abrazivitate a cenușii prin metoda Kuznețov-Dubowski și conform normei sovietice de calcul.

4.1. Metoda Kuznețov-Dubowski

Conform acestei metode, coeficientul de abrazivitate a cenușii se calculează cu formula:

$$a = \frac{H}{C_R \cdot C_H \cdot C_\sigma \cdot m \cdot p \cdot (w \cdot k_w)^3 \cdot \mu \cdot k_\mu \cdot \tau} \left[\frac{s^3}{mm^2 \cdot h}\right],$$

în care:

H este uzura maximă a pereților țevii (mm) și se calculează cu ajutorul relației:

$$H = \frac{3G}{\pi d \gamma},$$

în care:

G este diferența între masa epruvetelor de țeavă înainte și după efectuarea probei de eroziune raportată la o lungime a acestora de 1 mm;
d — diametrul țevii (mm);
γ — greutatea specifică a metalului (g/mm³)
C_R — coeficient care ține seama de poziția țevii în rînd;
C_H — coeficient care ține seama de unghiul de uzură;
C_σ — coeficient care depinde de pasul relativ transversal σ_t;
m — coeficient care ține seama de rezistența la uzură a materialului solicitat și de influența temperaturii metalului;
p — coeficient care ține seama de probabilitatea de lovire a țevilor de către particulele de cenușă în mișcare;
w — viteza agentului purtător de cenușă (m/s);
k_w — coeficient de neuniformitate a cîmpului de viteze reprezentînd valoarea maximă a vitezei în intervalul considerat;
μ — concentrația cenușii în agentul purtător (g/m³ N);
K — coeficient de neuniformitate a cîmpului concentrațiilor;
τ — durata experimentării (h).

Valorile coeficientului de abrazivitate calculate conform acestei metode sînt prezentate în tabelul 3.

Valorile coeficientului de abrazivitate a cenușii sînt determinate în diferite condiții de experimentare și calculate conform metodei Kuznețov-Dubowski și normei sovietice de calcul.

Întrucît metoda de calcul nu include un coeficient care să țină seama de sensul de circulație al agentului eroziv în raport cu suprafața supusă uzurii, valorile coeficientului de

Tabelul 3

Parametrul	U.M.						
Viteza — w	m/s	9,32	11,76	17,39	17,39	9,32	17,39
Concentrație — c	g/m³	70	70	70	110	70	70
Diferența de masă a țevii datorită eroziunii							
G_a $\times 10^{-3}$	g/mm	0,120	0,185	0,388	0,458	0,115	0,402
G_d $\times 10^{-3}$	g/mm	0,135	0,225	0,463	0,539	0,140	0,475
Coeficient de abrazivitate — a							
— după metoda Kuznețov — Dubowski							
a_a $\times 10^{-9}$	s³/mm²·h	11,77	11,52	11,02	12,42	11,28	11,42
a_d $\times 10^{-9}$	s³/mm²·h	13,24	14,00	13,15	14,62	13,73	13,49
— după metoda sovietică de calcul							
a_a $\times 10^{-9}$	$\frac{mm \cdot s^3}{g \cdot h}$	4,32	3,91	3,30	3,72	4,14	3,41
a_d $\times 10^{-9}$	$\frac{mm \cdot s^3}{g \cdot h}$	4,86	4,76	3,93	4,36	5,04	4,03
$\frac{a_a}{a_d}$		1,125	1,216	1,193	1,176	1,217	1,182

abrazivitate a cenușii au fost stabilite separat pentru cele două situații; se constată că, indiferent de condițiile de lucru în care s-au efectuat probele (viteza, concentrația, durata), rezultă valori ale coeficientului de abrazivitate a cenușii apropiate — cuprinse între 11,02 și $12,42 \cdot 10^{-9}$ s³/mm²·h — mediu $11,57 \cdot 10^{-9}$ s³/mm²·h — pentru circulația agentului eroziv în sens ascendent și între 13,24 și $14,62 \cdot 10^{-9}$ s³/mm²·h — mediu — $13,71 \cdot 10^{-9}$ s³/mm²·h pentru circulația sa în sens descendent.

Raportul între coeficienții stabiliți între cea de a doua și prima situație este cuprins între 1,125 și 1,217, ceea ce înseamnă că în medie, în cadrul aceluiași regim de lucru, cenușa își manifestă caracterul abraziv cu circa 18% mai pregnant în cazul circulației sale în sens descendent decît în sens ascendent, fapt explicat prin accelerarea particulelor datorită greutății lor în primul caz și încetinirea lor, din aceeași cauză, în cel de al doilea caz.

4.2. Norma sovietică de calcul

Conform normei sovietice de calcul coeficientul de abrazivitate a cenușii se calculează cu relația:

$$a = \left(\frac{2{,}85 \cdot k_D}{w \cdot k_w \cdot R_{90}^{0,2}}\right)^{3,33} \left(\frac{s_1}{s_1 - d}\right)^2 \cdot$$

$$\cdot \frac{H}{m \cdot \mu \cdot k_\mu \cdot \tau} \left[\frac{mm \cdot s^3}{g \cdot h}\right],$$

în care, în afară mărimilor cunoscute, mai intervin:

k_D — raportul între viteza calculată a gazelor de ardere la sarcina nominală și viteză lor la sarcină medie de exploatare;

R_{90} — parametru ce ține seama de influența finetii de măcinare a cenușii asupra uzurii, exprimată în procente de refuz pe sita de 0,09 mm a cenușii respective;

s_1 — pasul transversal al țevilor în fascicul (mm).

Se constată că în cazul circulației agentului eroziv în sens ascendent, coeficientul de abrazivitate are valori cuprinse între 3,30 — 4,32 · $\cdot 10^{-9}$ mm.s³/g.h — medie $3,80 \cdot 10^{-9}$ mm. s³/g·h, în timp ce în cazul circulației amestecului bifazic în sens descendent s-au stabilit valori de $3,93 - 5,04 \cdot 10^{-9}$ mm.s³/g.h. — medie $4,50 \cdot 10^{-9}$ mm.s³/g.h.

Scăderea valorilor coeficientului de abrazivitate la creșterea vitezei amestecului aer-cenușă demonstrează faptul că, influența vitezei este mai puțin importantă decît cea exprimată prin exponentul 3,33 considerat în relațiile de calcul, valoarea reală a acestuia fiind mai coborîtă.

Concluzii

1. Studiul influenței parametrilor aerodinamici asupra intensității procesului de eroziune a suprafețelor de transfer termic datorită cenușii s-a efectuat prin testarea comportării cenușii prelevate de la un cazan de 1035 t/h pe un stand; uzura unor epruvete metalice sub forma unor tronsoane de țevi confecționate din diferite materiale și dispuse alternat sau în linie a fost determinată prin scăderea de masă care se obține la insuflarea unei anume cantități de cenușă antrenate de aer la temperatura ambiantă, în diferite condiții de viteză și concentrație a cenușii la circulația amestecului bifazic în sens ascendent și descendent.

2. Experimentările desfășurate pe acest stand la aranjarea în linie și alternată a țevilor avînd

diametrul de 32 mm și pasul transversal de 80 mm, corespunzător unei viteze a amestecului bifazic cuprinse între 9 și 18 m/s și concentrații a cenușii de 70—110 g/m^3 aer au arătat următoarele :

— în aceleași condiții de viteză și concentrație uzura rîndului 1 este practic aceeași, indiferent de modul de dispunere a țevilor;

— în cazul aranjării în linie a țevilor uzura rîndului 2 este cu 30—50% mai mică decît cea a rîndului 1, iar în situația aranjării alternate a țevilor uzura rîndului 2 crește cu 50—97% față de cea corespunzătoare rîndului 1; ca urmare, uzura rîndului 2 de țevi este de 3—4 ori mai mare la dispunerea alternată decît la aranjarea în linie a țevilor în fascicul;

— în condiții similare de lucru, prin amplasarea țevilor în sens ascendent de circulație a amestecului bifazic se reduce eroziunea cu 9—25% (medie 15%) față de situația antrenării cenușii în sens descendent;

— uzura metalului crește odată cu mărirea vitezei și concentrației cenușii în amestecul bifazic și cu durata probei, verificarea acestei dependențe efectuîndu-se prin introducerea datelor experimentale în formulele de calcul al coeficientului de abrazivitate a cenușii prin metoda Kuznețov-Dubowski și norma sovietică de calcul;

— uzura rîndului 2 de țevi raportată la uzura rîndului 1 înregistrează o ușoară creștere la mărirea vitezei amestecului bifazic, rămînînd însă constantă la modificarea valorii concentrației cenușii;

— gradul de uzură depinde de tipul materialului din care sînt confecționate țevile; în aceleași condiții de lucru, prin înlocuirea oțelului OLT 45 KIII cu oțel 16M03 se obține o reducere a uzurii cu circa 30%.

3. Prin introducerea datelor experimentale obținute în relațiile de calcul al coeficientului de abrazivitate a cenușii după metoda Kuznețov-Dubowski și conform normei sovietice de calcul s-au obținut valori cuprinse între 11,02—12,42 · 10^{-9} s^3/mm^2. h — medie — 11,57 · 10^{-9} s^3/mm^2 · h pentru circulația agentului eroziv în sens ascendent și între 13,24 — 14,62 · 10^{-9} s^3/mm^2 · h — medie 13,71 · 10^{-9} s^3/mm^2 · h pentru circulația agentului eroziv în sens descendent, prin prima metodă, și valori de 3,30—4,32 · 10^{-9} mm.s^3/g · h — medie 3,80 · · 10^{-9} mm · s^3/g.h. în cazul circulației amestecului bifazic în sens ascendent și de 3,93—5,04 · 10^{-9} mm.s^3/g.h. — medie 4,50 · · 10^{-9} mm.s^3/g.h. corespunzător circulației sale în sens descendent după cea de a doua metodă. Domeniul relativ restrîns de variație a valorilor calculate indică corectitudinea datelor experimentale obținute, întrucît confirmă faptul că acest coeficient de abrazivitate reprezintă o caracteristică a cenușii care depinde de dimensiunea, forma, compoziția chimico-mineralogică și duritatea particulelor, valorile sale nedepinzînd de condițiile în care au avut loc măsurătorile; tendința de scădere a valorilor coeficientului de abrazivitate a cenușii calculat conform normei sovietice de calcul la creșterea vitezei amestecului aer-cenușă demonstrează faptul că influența vitezei este mai puțin importantă decît cea exprimată prin exponentul 3,33 considerat în relația de calcul, valoarea reală a acestuia fiind mai coborîtă.

4. Întrucît în ultimii ani s-a constatat, pe de o parte, o creștere a numărului de spargeri de țevi la cazanele de abur alimentate cu combustibili solizi și, pe de altă parte, o înrăutățire a calității cărbunilor, este necesară reevaluarea influenței caracteristicilor cenușii combustibililor utilizați în cadrul centralelor termoelectrice asupra procesului de eroziune a suprafețelor de transfer termic ale cazanelor și stabilirea coeficienților de abrazivitate a cenușilor. Odată cunoscuți acești coeficienți se poate calcula viteza maximă admisibilă a gazelor de ardere, a cărei valoare comparată cu cea a vitezelor în zona economizoarelor indică dacă este necesară sau nu luarea unor măsuri de reducere a eroziunii fie prin procedee prin care se acționează asupra factorilor care determină intensitatea acestui proces, fie prin aplicarea unor sisteme de protecție a zonelor celor mai afectate de uzură — coturile serpentinelor, primele rînduri de țevi și în buclele marginale ale fasciculului.

Bibliografie

[1] Belov, S. Iu., Isakov, A. I., Kocetkov, A.V. *Vlianie konstrukții șahmatogo pucika na abrazivnii iznos trub.* l-u Vsesoiuznoi Konferenții Vlianie mineralnoi ceasti energheticeskih topliv na usloviia raboti parovih kotlov, v. 3, p. 47—53, Tallin, (1986).

[2] Bratcikov, N. V. *Opredelenie scorosti dvijenia ciastiți v mejtrubnom prostranstve.* În: Teploenerghetika, nr. 7, 1976, p. 46—48.

[3] Bratcikov, V. N. *O zolovom iznose poverhostei nagreva kotlov pri voshoiașcen i nishodiașcem dvijenii gazogo poloka.* In: Iz. VUZ Energhetika, nr. 8, 1986, p. 58—61.

[4] Dolbnia, Iu. A. *Zașcita dimososov reținkulații ot zolovogo iznosa,* l-u Vsesoiuznoi Conferenții Vlianie mineralnoi ceasti energheticeskih topliv na usloviia raboti parovih kotlov, v. 3, p. 55—59, Tallin (1986).

[5] Horváth, L. G. *Kóptatási kisérletek visontai lignit pernyékkel.* In: VEIKI Kutatási jelentés, 11.92—143—2/2, nr. 12, 1982.

[6] Horvát, L. G. *A GHV — ban eltüzelt különböző lignit és baranaszén minták, valamint visontai lignitpernyék, relativ sugár koptatási tulajdonságainak vizsgálata.* În: VEIKI Kozlemenyek, p. 45—54 (1983—84).

[7] Kiselev, N.B., Moskalenko, L. V., Aliiarov, B. K., Kovler, L. I.,

Abrahmanov, A. A. *Vlianie zolnosti i nekotorih faktorov na şlakovanie i abrazivnie svoistva zol pri sjiganii Ekibastuznovo uglia v kotloagregatah s vihrevimi gorelkami (PK-39) i tanghelţialnoi topocinoi cameroi (BKZ — 160).* I-u Vsesoiuznoi Konferenţii Vlianie mineralnoi ceasti energheticeskih topliv na usloviia raboti parovih kotlov, v. 1., p. 96—102, Tallin (1986).

[8] Kotwai, R., Tabakoff, W. A. *A new approach erosion prediction due to fly adh.* În: Journal Engineering Power, 103, 2, p. 265 (1981).

[9] Kuzneţova, P. N., Popov, A. G. *Zolovoi iznos trubceatih vozduhopodogrevatelei.* III Vsesoiuznoi Konferenţii Vlianie mineralnoi ceasti energheticeskih topliv na usluviia raboti parogheneratorov 2, Tallin p. 122—127 (1980).

[10] Migai, V.K., Serik, V.I., Martînicev, M.I., Vasilev, A.A., Liseikin. I.D. *Issledovanie zolovogo iznosa membranik poverhnostei nagreva* In: III Vsesoiuznoi Konferinţii Vlianie mineralnoi ceasti energheticeskih topliv na usloviia raboti parogheneratorov 2, Tallin, p. 108—116 (1980).

[11] Movsesian, V. L. Murzici, A. F. *Zagriaznenie i abrazivnii iznos rekuperativnogo vozduhopodogrevatelia iz profilnin litov.* În: 1-u Vsesoiuznoi Konferenţii Vlianie mineralnoi ceasti energheticeskih topliv na usloviia raboti parovih kotlov, v. 3, p. 42—47, Tallin (1986).

[12] Perelman, R. G. *Vlianie mineralnoi ceasti topliv na erosionuiu stoikost parogheneratorov.* În: 1-u Vsesoiuznoi Konferenţii Vlianie mineralnoi ceasti energheticeskih topliv na usloviia raboti porovih kotlov, v. 3, p. 132—136, Tallin (1986).

[13] Pillat, D. V. *Relaţie pentru determinarea nivelului de eroziune de către cenuşă a ţevilor de economizor.* În: Energetica, 28 1980, nr. 12, p. 547—550.

[14] Popov, A. G. *Zolovoe iznaşivanie trubceatih vozduhopodogrevatelei.* În: Teploenerghetika, nr. 12, 1978 p. 55—58.

[15] Popov, A. G. *Umenşenie zolovogo iznosa poverhnostei negreva pri sjiganii ekibastuznogo uglia.* În: Teploenerghetika, nr. 4, 1979, p., 25—27.

[16] Popov, A. G. *Zolovoi iznos poverhnostei negreva kotlov.* În: Izv. VUZ Energhetika nr. 1/1987 63—68.

[17] Raport, V. E. *Analiza effectivnosti zaşciti poverhnostei nagreva kotlov ot zolovogo iznosa.* I-u Vsesoiuznoi Konferinţii Vlianie mineralnoi ceasti energheticeskih topliv na usloviia raboti porovih kotlov, v. 3, p. 116—122, Tallin (1986).

[18] Rihter, L. A., Loseva, M. B., Cernov, S — L. *Voprosi vlianiia aerodinamiceskih faktorov na zolovie otlojeniia i zolovoi iznos gazogotracta TES* I-u Vsesoiuznoi Konferinţii Vliianie mineralnoi, ceasti energheticeskih topliv na usloviia raboti porovih kotlov, V. I. p. 117—121, Tallin (1986).

[19] Swirski, J. *Badania erozji popiolowej i ocena zuzycia rur kotlowych wskutek jej dzialania.* În: Prace Instytutu Energetyki, 1, p. 67—130 (1975).

[20] Swirski, I., Piatkovski, V. *Zoşcita kotelnih trub ot erozii zoloi.* În: Biuletin instituta energhetiki, 1—2 (1976).

[21] Szalay, Z. *Visontai lignitemeddö ásvanyos összetetelének és koptató hatásának összefüggesei.* 240.021.2 SZ KBFI Kutatási Zárójelentés, 12, Budapest (1982).

[22] Szalay, Z *Mineral composition of the tailings in lignites from visonta and brown coal from Nograd, in view of its abrasive power.* Banyasz. Kohasz. Lapok. Banyasz, 117, 8, p. 534—538 (1984). În Chemical Abstracts, 102; 27.945 x, (1985).

[23] Vdovenko, I. M., Baiahunov, Ia. V. *O promişlennoi proverke prognoza abrazivnosti zoli uglei,* În: Teploenerghetika, 7, p. 50—51 (1975).

[24] Yee, K.H. Shayler, P. J., Collings, N. *Erosion of merals by fly ash particles.* Wear, 91, 2, p. 161—170 (1983).

(Primit la 22 octombrie 1988, acceptat la 29 martie 1989)

Aplicații ale modelului matematic pentru simularea regimurilor hidraulice de funcționare a sistemelor interconectate de termoficare cu apă caldă

Ing. NICOLAE NICULESCU, ing. ION UȚĂ,
conf. dr. ing. AURELIU LECA, dr. ing. RADU POPA*

Descriptori: termoficare, alimentare cu apă caldă, regimuri hidraulice, model matematic

CZ : 697.34

Lucrarea prezintă o serie de exemple de utilizare a modelului matematic pentru simularea regimurilor hidraulice permanente de funcționare a sistemelor de termoficare interconectate. Sînt prezentate o serie de exemple de utilizare a modelului în probleme practice de hidraulică în rețele complexe de termoficare.

The paper presents a series of practical application examples of the mathematical model which simulates permanent hydraulic operating regimes of interconnected district heating grids. Some application examples of the model in practical hydraulic problems of complex district heating grids are presented.

Mathematical Model Applications for the Hydraulic Regimes Simulation of Interconnected Hot Water District Heating Grids

(Condensed from the paper in Romanian)

The wide extension of the urban district heating grid, its progress in the way of complexity and the widening of its operating conditions, has called for some studies and research endeavours in order to elaborate computer programmes capable to model exactly physical processes occuring during the operation of interconnected grids and to provide quick answers to a large range of situations liable to occur in operation.

This mathematical model simulates the permanent hydraulic regime in a complex looped district heating grid, supplied from several sources, having intermediary pumping sub-stations, control and survey devices, etc. and which includes supply and return circuits.

The geometrical district heating grids structure is described by means of an associated oriented graph, the grid's system graph. Figure 1 represents a hydraulic flat grid consisting of 12 ducts and 9 nodes, supplied from one source and feeding six consumers. Figure 1 b indicates a possible associated graph of such a grid. The associated graph topology is completely and uniquely defined by incidence matrices [A] and the basic circuits matrix [B].

Besides the K ducts there exist as well the following grid elements :

— consumers/flow sources which take/feed known flows to all or only to one part of the grid nodes ;

— active pressure sources, located on some or on all grid ducts, which introduce active pressures known and non-depending on the flows circulating through the ducts.

The ducts hydraulic behaviour is completely defined if the transported flows are known as well as the load losses between the end nodes. The piezometric graph for the ducts containing active pressure sources looks as a rule like that in Figure 2.

Starting from Bernoulli's relation written along the duct i, using the equation Darcy-Weissbach and Kirchhoff's laws, a matricial equation can be set up which further supplies a number of algebraic non-linear equations equal to the number of lines of the sub-matrix [A] and equal to the number of nodes of the grid having an unknown piezometric load.

Referring to the problem of including into the model the flow direction survey devices, the pressure or flow regulators, the intermediary pumps, etc., a structural change of the originar grid is achieved.

It is admitted that in duct i from Figure 3, delimitated by nodes y and y + 1 and having a hydraulic conductancy c_i, there exists a flowing direction survey device enabling the transit flow only from node j to j + 1.

Thus, by similar artifices other grid elements can be modelled as well.

The iterative algorithm Newton-Raphson for solving non-linear equations systems has convergency properties of the quadratic type, involving computation steps which lead to Jacobian matrices of reduced densities. In the present case the working technique with rare matrices has imposed itself, adopting as a direct solving method the bifactorization method. This method has proven itself suitable for rare matrices systems, diagonally dominant ones, with numerical or structural symmetry.

The problem of the most true preserving of the original matrix rare structure, is solved by a suitable order of the pivots, knowing the fact that for rare symmetrical and dia-

* Ing. Nicolae Niculescu, ing. Ion Uță — Institutul de Studii și Proiectări Energetice București, conf. dr. ing. Aureliu Leca, dr. ing. Radu Popa — Facultatea de Electrotehnică și Energetică, Institutul Politehnic, București.

gonally dominant matrices, the main diagonal elements can be used as pivots, in any order and without impending on the numerical precision of the solution.

Taking into account the above mentioned, the main stages of an actual approach are the following: rearranging the system equations, for limiting the number of filling elements, the symbolic factorization of the system matrix, the numeric factorization of the matrix and the solution computation returning to the initial numbering and display of the interesting results.

Based on the mentioned aspects, an extremely efficient computer programme has been elaborated, with a limited necessar memory amount, for simulating hydraulic regimes in complex hot water district heating grids.

Introducere

Lucrarea ilustrează posibilităţile de utilizare a modelului matematic pentru simularea regimurilor hidraulice permanente în reţele complexe de termoficare cu apă caldă.

Necesitatea abordării subiectului a apărut ca urmare a dezvoltării spectaculoase a sistemelor de alimentare centralizată cu căldură, chemate să asigure cu agent un număr tot mai mare de consumatori, la distanţe apreciabile şi în configuraţii de amplasament, alimentare etc. din ce în ce mai diverse. Problema posibilităţii simulării regimurilor hidraulice în astfel de sisteme devine stringentă, atît pentru scopurile proiectării, cît şi în exploatarea lor efectivă.

Modelul elaborat permite asemenea analize, fiind conceput într-o formulare matematică modernă şi apelînd la tehnici de rezolvare eficiente, ceea ce îi conferă calităţi apreciabile, mai ales în cazul reţelelor de mari dimensiuni. Dar se estimează că simpla existenţă a acestui model general şi a programelor de calcul aferente nu este suficientă pentru elucidarea unor probleme concrete. Modelul şi programele de calcul trebuie să se integreze într-o metodologie mai largă de atacare a problemelor respective. Această metodologie este elaborată de către utilizator, funcţie de natura problemei studiate, disponibilul de date de intrare, ipotezele de funcţionare acceptate sau acceptabile şi aşa mai departe, iar eficienţa ei depinde în bună măsură de imaginaţia tehnică şi experienţa celui ce o alcătuieşte. Obiectivul prezentului material este tocmai acela de a sugera astfel de căi de abordare, într-o serie de aspecte referitoare la hidraulica reţelelor complexe de termoficare.

1. Reţea de termoficare simplă, alimentată dintr-o singură sursă

1.1. Determinarea regimului hidraulic pe circuitul de tur al unei reţele simple

Un prim exemplu de aplicaţie se referă la determinarea regimului hidraulic pe circuitul de tur al unei reţele de termoficare simplă, alimentată dintr-o singură sursă.

Din motive de spaţiu, se prezintă exemplul din figura 1, care conţine schiţa circuitului de tur al unei reţele simple, de tip arborescent, alcătuită din 15 conducte şi 16 noduri. Conductele 1, 2, 4, 6, 8, 10, 12 şi 14 sînt conducte magistrale, iar celelalte-conducte de racord la magistrală a punctelor termice (PT) plasate în nodurile 3, 5, 7, 9, 11, 13 şi 15. Nodul 16 este nodul sursă (CET-ul), iar celelalte noduri constituie joncţiuni interne de reţea. Pe figură apar şi două conducte trasate cu linie întreruptă, care se admit momentan a fi obturate prin vane, dar vor servi la interconectarea cu o altă reţea în exemplele următoare. În tabelul 1 sînt indicate datele geometrice (lungime şi diametru) şi coeficientul de încărcări cu pierderi de sarcină locale, α, pentru aceste conducte. Debitele de calcul solicitate la consumatori (în t/h), sînt precizate în figura 1.

Tabelul 1

Conducta	L [m]	D [m]	α	Conducta	L [m]	D [m]	α
1	360	0,8	0,2	9	10	0,2	0,3
2	840	0,8	0,2	10	235	0,2	0,25
3	120	0,2	0,3	11	175	0,2	0,3
4	240	0,3	0,25	12	330	0,3	0,25
5	90	0,2	0,3	13	90	0,2	0,3
6	140	0,3	0,25	14	170	0,3	0,25
7	105	0,2	0,3	15	260	0,2	0,3
8	120	0,3	0,25				

Conform [2], în calculele de regim hidraulic în reţele de termoficare, cu temperaturi ale agentului între 40°C şi 150°C şi rugozitate absolută a pereţilor conductei $5 \cdot 10^{-4}$ m, se utilizează frecvent relaţiile:

$$\Delta h = S \cdot L_e \cdot Q^2; \quad S = \frac{1{,}05}{10^{10}} \frac{1}{D^{5{,}25}};$$

$$L_e = L(1 + \alpha), \qquad (1)$$

unde:

Δh este pierderea de sarcină pe conductă, în mH_2O;
S — rezistenţa specifică;
L_e — lungimea echivalentă a conductei ţinînd seama de pierderile locale introduse prin coeficientul α;
Q — debitul tranzitat, în t/h;
D — diametrul interior, în m;
L — lungimea reală, în m.

Conductivitatea hidraulică a conductei într-o relaţie ca (7) din [1], va fi:

$$c = 10^5 \frac{D^{2{,}625}}{\sqrt{1{,}05 \cdot L(1 + \alpha)}} \qquad (2)$$

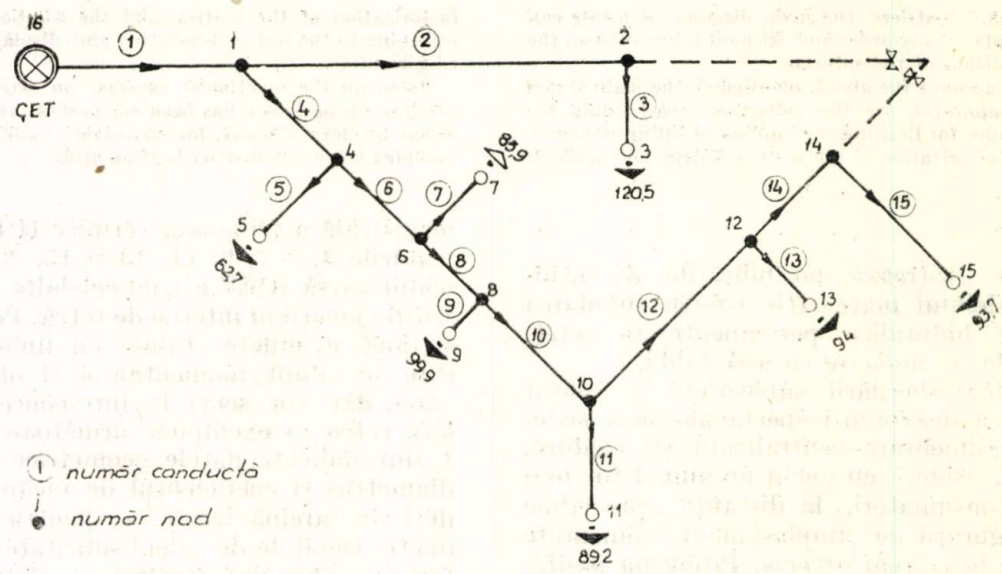


Fig. 1

Dacă se precizează sarcina piezometrică la ieşirea din CET pe circuitul de tur, fie aceasta H_{CET} (adică $H_{16} = H_{CET}$) şi se utilizează datele şi reaţiile menţionate, cu modelul matematic prezentat în [1] se obţine regimul hidraulic din reţea, constînd din debitele pe conducte şi sarcinile piezometrice în noduri.

Aceeaşi analiză se poate repeta pentru alte valori H_{CET} şi/sau alte debite la consumatori. În particular, este uşor de determinat sarcina la CET, $H_{16} = H^*_{CET}$, pentru care sarcina pe tur la ultimul consumator — fie acesta nodul 15 în cazul figurii 1 — atinge o valoare minimă $H_{15} = H_{f\,min}$, impusă din considerente tehnice, de proiectare, exploatare şi altele, în condiţiile debitelor de calcul la consumatori (spre exemplu, $H_{f\,min} = 60$ mH$_2$O, valoarea presiunii de saturaţie la temperatura agentului). Alura graficului piezometric pe traseul dintre sursă şi ultimul consumator pe turul reţelei, este desenată cu linie continuă în figura 2.

1.2. Schematizarea reţelei incluzînd circuitul de retur

Apare evident că în cazul reţelelor de termoficare o schematizare ca cea din figura 1 este prea simplistă. În fapt, la astfel de reţele nu există noduri din care se prelevează sau unde se introduc debitele de agent, ci acestea sînt recirculate aproape integral prin intermediul circuitului de retur, cu ajutorul pompelor din CET şi eventual al unor pompe intermediare de reţea.

Dacă punctul termic şi consumatorii racordaţi la el se modelează printr-o conductă echivalentă, iar CET-ul printr-o conductă echivalentă prevăzută cu o sursă de presiune acti-

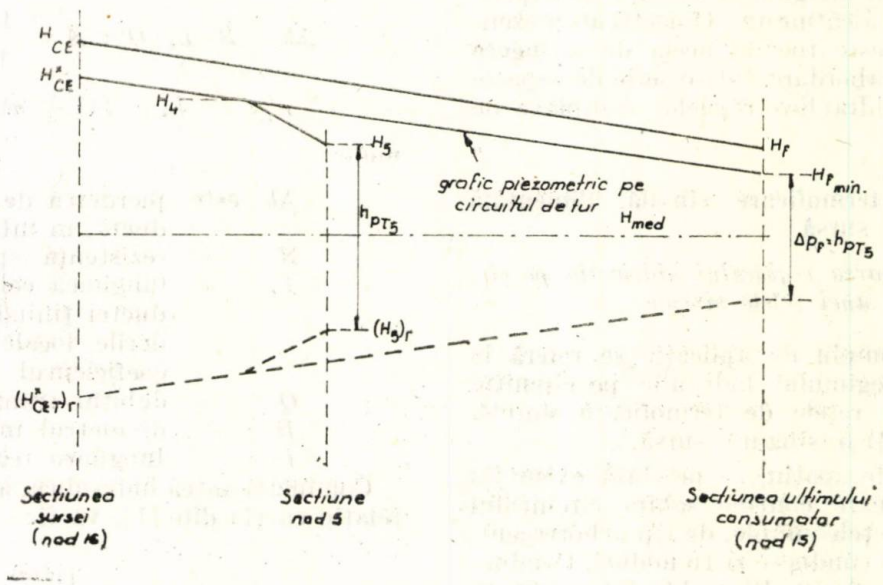


Fig. 2

vă, se obține o schematizare a rețelei din figura 1 ca cea din figura 3, care include și circuitul de retur.

Admițînd situația frecventă că graficul piezometric pe retur este simetric celui pe tur în raport cu o valoare medie a sarcinii, H_{med} (conducte identice cu cele de pe tur și neglijarea efectului temperaturii mai reduse a agentului asupra pierderilor de sarcină) și cunoscînd disponibilul de presiune necesar la ultimul PT, Δp_f, și pierderea de sarcină în CET, h_{CET}, cu ajutorul modelului matematic din [1] și al programelor de calcul se obțin informații suplimentare despre comportarea rețelei.

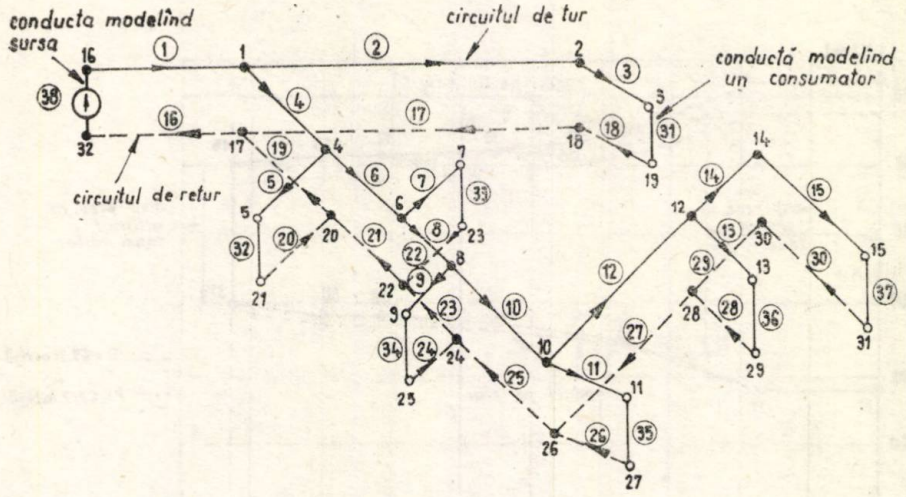


Fig. 3

1) În primul rînd, se pot determina parametrii hidraulici ai conductelor echivalente, corespunzînd regimului nominal de calcul.

Într-adevăr, sarcina medie rezultă cu

$$H_{med} = H_{f_{min}} - \frac{\Delta p_f}{2}, \qquad (3)$$

iar conductivitatea hidraulică a conductei ce modelează ultimul PT și consumatorii lui — realizînd o pierdere de sarcină egală cu disponibilul de presiune necesar — va fi:

$$c_{37} = \frac{Q_{15}}{(\Delta p_f)^{0.5}}. \qquad (4)$$

Pentru un PT oarecare din rețea, spre exemplu cel din nodul 5, rezultă (vezi fig. 2):

— sarcina pe retur:

$$(H_5)_r = H_5 - 2(H_5 - H_{med}); \qquad (5)$$

— pierderea de sarcină realizată la consumatori și prin laminare:

$$h_{PT5} = H_5 - (H_5)_r = 2 \cdot (H_5 - H_{med}); \qquad (6)$$

— conductivitatea conductei echivalente:

$$c_{32} = \frac{Q_5}{h_{PT5}^{0.5}}, \qquad (7)$$

unde H_{med} este dat de (3), iar H_5 rezultă din analiza de la pct. 1.1.

Pentru conducta modelînd CET-ul, se utilizează

$$c_{38} = \frac{Q_{CET}}{h_{CET}^{0.5}}, \qquad (8)$$

unde $Q_{CET} = \Sigma Q_{PT}$ este suma debitelor de calcul la consumatori.

Presiunea activă a sursei plasată pe această conductă pentru a învinge h_{CET} și diferența de sarcină între tur și retur la CET, va fi

$$P_{38} = h_{CET} + 2 \cdot (H^*_{CET} - H_{med}), \qquad (9)$$

iar sarcina piezometrică pe retur, la intrarea în CET (nodul 32 admis ca nod de referință, cu sarcina impusă) este:

$$H_{32} = (H^*_{CET})_r = 2 \cdot H_{med} - H^*_{CET}. \qquad (10)$$

S-au presupus datele $H_{f_{min}} = 60$ mH$_2$O, $\Delta p_f = 20$ mH$_2$O, $h_{CET} = 25$ mH$_2$O și cota geodezică identică pentru toate nodurile, cu care s-a rulat programul de calibrare a rețelei pentru regimul de calcul. Pe lîngă faptul că rezultatele obținute folosind configurația din figura 3 le confirmă pe cele găsite pentru circuitul de tur schematizat în figura 1, s-a dedus acum și regimul hidraulic pe circuitul de retur. Graficul piezometric pe traseul dintre CET și PT 15 este reprezentat cu linie continuă pe figura 4.

Pentru secțiunea CET au rezultat datele: $H_{16} = H^*_{CET} = 71{,}99$ mH$_2$O, $H_{32} = 27{,}94$ mH$_2$O,

$P_{38} = 69{,}11$ mH_2O, diferența între $H_{32} + P_{38} - h_{CET} - H_{16} = 0{,}06$ mH_2O provenind din aproximațiile de calcul datorate criteriului de oprire a iterațiilor.

2) Un alt aspect ce poate fi analizat în continuare este următorul : care va fi regimul hidraulic în rețea, dacă nu se acționează organe de reglare la PT (aceleași conductivități pentru conductele echivalente ca în regimul nominal, dar se modifică presiunea pompelor la sursă.

S-a considerat o reducere de 10% a presiunii active la sursă, adică $p'_{38} = 0{,}9 \cdot P_{38} = 62{,}2$ mH_2O și s-a obținut graficul piezometric trasat cu linie întreruptă pe figura 4. Debitul tranzitat prin CET s-a redus de la 645,9 t/h în regimul de calcul la 612,75 t/h în acest regim nenominal, deci o scădere de circa 5% care s-a regăsit — de altfel — și la ultimul consumator (de la 93,7 t/h la 88,9 t/h).

Este de remarcat că în schematizarea „spațială" din figura 3, debitele la PT nu mai apar printre datele de intrare (debite prelevate în noduri, ca pentru rețeaua din figura 1), dar modelul conservă posibilitatea ca în nodurile de tur sau retur ale conductei ce simulează un PT să se extragă debite din rețea — eventual cele pentru prepararea apei calde menajere — urmînd ca acestea să fie introduse ca debit de adaos în secțiunea CET.

După cum se va constata din capitolele următoare, sînt posibile și alte tipuri de analize pe rețeaua de termoficare schematizată ca în figura 3.

3) Examinînd mai atent figura 3, se ajunge la concluzia că dimensiunile rețelei analizate pot fi reduse substanțial dacă se acceptă o altă modelare.

Într-adevăr, avînd un PT și cele două conducte de racord la magistralele de tur și respectiv retur ca în figura 5 *a*, acestea pot fi modelate printr-o conductă echivalentă ca în figura 5 *b*, obținîndu-se atît reducerea numărului de conducte, cît și a numărului de noduri

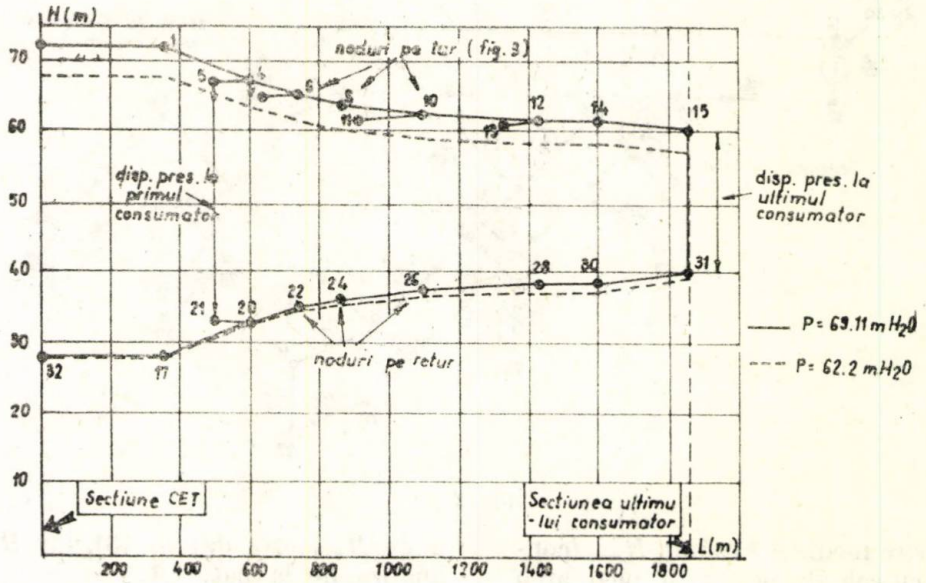


Fig. 4

din rețea, cu cîte două pentru fiecare PT. Este clar că acum se vor găsi sarcinile piezometrice doar în nodurile de racord la magistrale, dar pentru analiza la scara unei rețele mari aceasta este în general suficient. Desigur că o parte dintre PT pot fi modelate tot ca la pct. 1, dacă există un interes local deosebit.

Pentru a determina conductivitatea hidraulică a conductei echivalente din figura 5*b* — observînd și exemplul din figura 2 — se poate scrie relația :

$$h_e = h_{PT} + 2 \cdot (H_i - H_{i+1}). \qquad (11)$$

Dar, deoarece

$$Q_{PT} = c_e h_e^{0,5} = c_{PT} h_{PT}^{0,5} = c_R (H_i - H_{i+1})^{0,5} \qquad (12)$$

rezultă

$$\frac{Q_{PT}^2}{c_e^2} = \frac{Q_{PT}^2}{c_{PT}^2} + 2\,\frac{Q_{PT}^2}{c_R^2} \qquad (13)$$

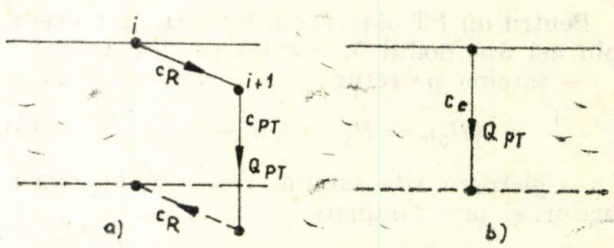


Fig. 5

și, în final

$$c_e = \frac{c_{PT}}{\sqrt{1 + 2 \cdot \left(\frac{c_{PT}}{c_R}\right)^2}}, \qquad (14)$$

unde c_{PT} se obține cu (7), iar c_R cu (2).

Adoptînd această schematizare, rețeaua din figura 3, avînd 32 noduri și 38 conducte, se reduce la o rețea cu doar 18 noduri și 24 conducte, dar care își menține structura „spațială". Această reducere constituie un avantaj enorm, ca memorie și timp de calcul, al soluției.

2. Rețea de termoficare complexă, alimentată din mai multe surse

Pentru a extinde exemplificările, se consideră o a doua rețea de termoficare, avînd schema circuitului de tur ca în figura 6 și datele din tabelul 2. Conducta reprezentată

Tabelul 2

Conducta	L[m]	D[m]	α	Conducta	L[m]	D[m]	α
1	500	0,7	0,2	25	64	0,15	0,3
2	130	0,7	0,2	26	222	0,15	0,3
3	100	0,5	0,2	27	228	0,2	0,3
4	300	0,3	0,25	28	123	0,4	0,2
5	160	0,3	0,25	29	65	0,15	0,3
6	60	0,25	0,28	30	58	0,2	0,3
7	150	0,5	0,2	31	112	0,25	0,28
8	142	0,15	0,3	32	180	0,2	0,3
9	10	0,15	0,3	33	970	0,2	0,3
10	142	0,15	0,3	34	1200	0,3	0,25
11	326	0,5	0,2	35	385	0,2	0,3
12	85	0,2	0,28	36	100	0,4	0,2
13	147	0,3	0,25	37	230	0,3	0,25
14	252	0,15	0,3	38	330	0,3	0,25
15	390	0,25	0,28	39	320	0,2	0,3
16	360	0,5	0,2	40	160	0,2	0,3
17	78	0,2	0,28	41	350	0,7	0,2
18	270	0,5	0,2	42	20	0,08	0,3
19	88	0,15	0,3	43	150	0,7	0,2
20	1007	0,5	0,2	44	148	0,2	0,3
21	110	0,5	0,2	45	300	0,5	0,2
22	100	0,12	0,3	46	25	0,2	0,3
23	500	0,5	0,2	47	70	0,1	0,3
24	72	0,2	0,3				

punctat va servi la interconectarea cu rețeaua de la cap. 1, așa cum se observă în schematizarea simplificată conform par. 1.2., pct. 3 de mai sus, din figura 7, caz I.

Efectuînd analiza pentru rețeaua II ca în par. 1.2 pct.1, cu debitele de calcul și $H_{f_{min}} = 60$ mH$_2$O, $\Delta p_f = 20$ mH$_2$O, $h_{CET} = 30$ mH$_2$O, s-au obținut în secțiunea CET : sarcina pe tur = 74,14 mH$_2$O, sarcina pe retur = 25,86 mH$_2$O, presiunea sursei active = 78,29 mH$_2$O, ultimul consumator din rețea rezultînd în nodul 36 (fig. 6). Debitul recirculat în rețea este de 1342,9 t/h, iar pe conductele aparținînd la bucle s-au găsit valorile din tabelul 3.

Dacă cele două rețele menționate se interconectează ca în figura 7 și se admit pentru

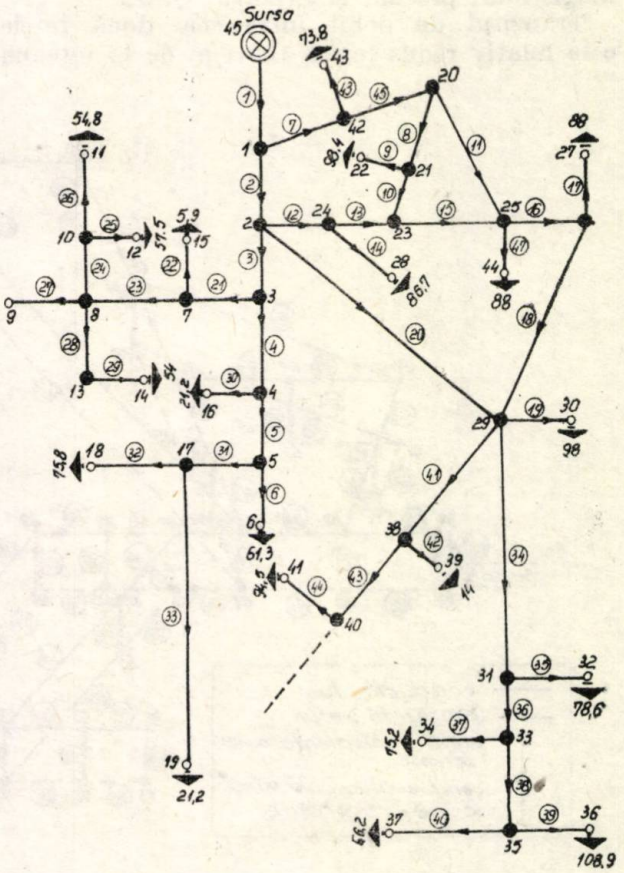


Fig. 6

Tabelul

Conducta	Q[t/h]	Conducta	Q[t/h]	Conducta	Q[t/h]	Conducta	Q[t/h]
2	898	7	444,93	8	52,34	10	−46,06
11	318,79	12	97,44	13	10,77	15	−35,32
16	274,66	18	186,26	20	349,13	45	371,12

conductele echivalente valorile c corespunzînd regimurilor nominale separate, se pot întreprinde diferite analize de regimuri hidraulice în rețeaua complexă rezultată.

Astfel, pentru cazul I de interconectare (prin conductele 25, 26 și 27 avînd lungimile 270, 450 și 260 m, diametrele 0,4, 0,8 și 0,7 m și coeficientul $\alpha = 0,2$) și alegînd nodul 74 cu sarcina impusă la 25,86 mH$_2$O, rularea programului de calcul pe această rețea complexă cu 74 noduri, 108 conducte și două surse de presiune activă (pe conductele 24 și 108) furnizează — pe traseul ales dintre cele două

CET-uri — graficul piezometric din figura 8. Tabelul 4 conţine, pentru exemplificare, valorile din regim separat (indice s) şi regim interconectat (indice i) ale debitelor prin surse şi unele PT şi ale sarcinilor pe tur la racordul cu magistrala, precum şi raportul Q_s/Q_i.

Tranzitul de debit între cele două reţele este relativ redus (circa 100 t/h, de la reţeaua II către I). Sensurile de curgere în reţeaua I se modifică faţă de regimul nominal separat, mulţi consumatori fiind alimentaţi pe conductele 1, 2, 26, 25, 8 etc. în loc de 1, 3, 4, 5, 6, etc. Din figura 8 se remarcă şi influenţa brutală a interconectării, în special în zona de legătură dintre reţele, asupra graficelor piezometrice. Asupra rezultatelor sintetizate în tabe-

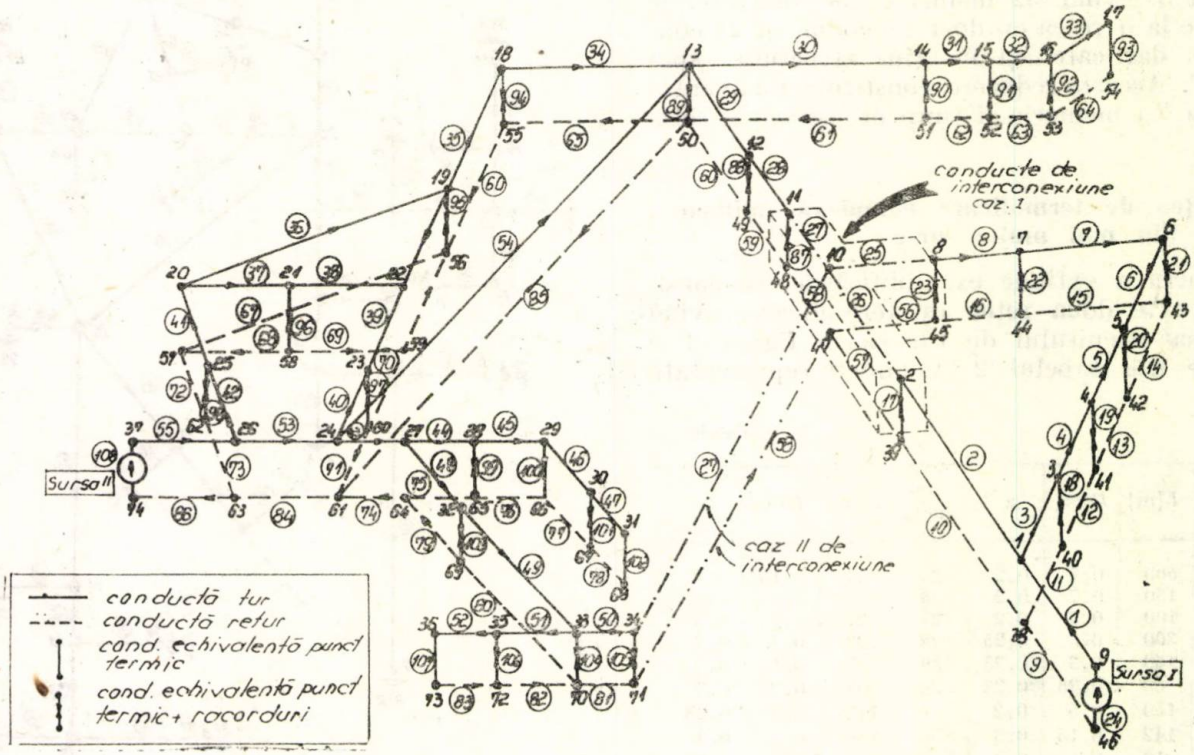


Fig. 7

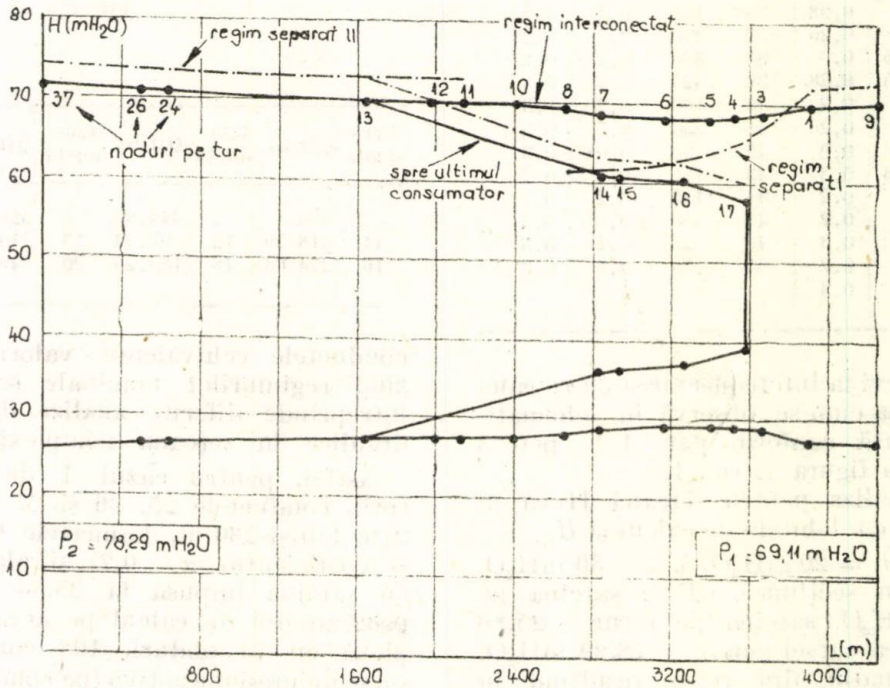


Fig. 8

Tabelul 4

Conductă (PT)	Q_s [t/h]	H_s [mH_2O]	Q_t [t/h]	H_t [mH_2O]	Q_s/Q_t
17	120	71,99	118,43	69,94	1,017
19	85,9	64,97	98,26	68,28	0,874
21	89,2	62,41	111,76	68,19	0,798
23	93,7	61,46	125,8	69,34	0,745
87	94,5	72,73	91,35	69,93	1,034
89	98	72,73	94,71	69,95	1,035
91	75,2	63,16	72,71	61	1,034
93	108,9	60	105,28	58,05	1,034
95	8,8	72,9	8,52	70,2	1,033
97	86,7	72,81	83,46	69,83	1,039
99	21,2	72,52	20,57	69,89	1,03
102	75,8	71,36	73,54	68,8	1,031
105	54	73,01	52,38	70,35	1,031
107	54,8	70,51	53,18	68	1,03
SI	645,9	72,06	663,7	70,06	0,973
SII	1342,89	74,14	1400,08	71,54	0,959

lul 4 se pot face diverse comentarii, ca — de altfel — şi asupra modului de formulare a problemei analizate. O concluzie certă însă, este aceea că există diferenţe destul de importante între funcţionarea în regim separat şi respectiv interconectat, a celor două reţele, iar modelul matematic şi programele elaborate permit abordarea unor astfel de aspecte.

Figura 7 ilustrează şi o a doua variantă de interconexiune, variantă care poate fi util să se studieze în faza de proiectare a unei astfel de conexiuni, dar pentru care nu se mai indică aici rezultatele obţinute.

3. Alte simulări de regimuri hidraulice în reţele complexe de termoficare

Acest capitol demonstrează posibilităţile de utilizare a modelului în alte tipuri de simulări.

3.1. Simularea reducerii consumului la un grup de beneficiari

Se admite prezenţa unui regulator de debit pe o conductă din reţea şi se notează cu Q^* valoarea de reglaj considerată. Principiul de modelare utilzat în program diferă de cel indicat în [1] cap. 4, în sensul că el nu presupune modificarea structurală a reţelei. Existenţa şi acţiunea regulatorului se modelează prin variaţia conductivităţii hidraulice a conductei pe care este plasat (în cadrul unui algoritm iterativ exterior procedeului Newton-Raphson de calcul a soluţiei pentru o configuraţie dată), pînă la valoarea corespunzătoare debitului de reglaj.

Notînd cu c_0 conductivitatea hidraulică a conductei cu organul de reglare complet deschis, prin Q^i debitul tranzitat pentru o valoare c^i a conductivităţii (evident, trebuie ca $c^i \leqslant c_0$) şi prin c raportul

$$c = c^i \frac{Q^*}{Q^i}, \qquad (15)$$

algoritmul de modificare a conductivităţii pentru iteraţia următoare globală $i+1$, este:

— dacă $Q^i > 0$ şi $c \leqslant c_0$, se face $c^{i+1} = c$;

— dacă $Q^i > 0$ şi $c > c_0$, se impune $c^{i+1} = c_0$;

— dacă $Q^i \leqslant 0$ şi $|Q^i| \geqslant Q^*$, se ia $c^{i+1} = c_0$;

— dacă $Q^i \leqslant 0$ şi $|Q^i| < Q^*$, se ia $c^{i+1} = 10^{-6}c$ (pentru a împiedica circulaţia în sens invers celui dorit).

Iteraţiile globale încetează cînd $|Q^i - Q^*| \leqslant \varepsilon$, cu ε impus suficient de redus.

Considerînd un astfel de regulator plasat pe conducta 30 din figura 7, valoarea $Q^*_{30} = 82{,}22$ t/h (25% din valoarea debitului în regimul nominal de funcţionare separată a reţelei II) şi celelalte date ca în exemplul de interconectare de la pct. 2, se obţine — după patru iteraţii globale — un debit reglat de 82,8 t/h. Graficul piezometric este redat în figura 9, împreună cu cel din exemplul anterior. (Alte rezultate nu pot fi indicate din motive de spaţiu.)

3.2. Simularea separării unui segment de reţea

Acest aspect se modelează cel mai simplu alocînd conductelor de tur şi retur pe care se află vana de separaţie valori $c = 0$ şi rulînd programul de calcul pe configuraţia reţelei complete.

Graficul piezometric din figura 10 s-a obţinut admiţînd cazul II de conexiune a reţelelor (vezi fig. 7), cu date pentru conducta 27: $L = 500$ m, $D = 0{,}4$ m, $\alpha = 0{,}2$ şi separare pe conductele 48 şi 79 din figura 7, celelalte date fiind menţinute ca în exemplul de la pct. 2. Separarea propusă echivalează cu împărţirea reţelei complexe în două sisteme distincte alimentate din surse diferite. Unele PT ies din sarcina CET II şi trec în sarcina CET I, dar s-au admis aceleaşi presiuni active la surse ca în regimurile de calibrare (nominale) considerate iniţial. (Alte rezultate nu pot fi indicate din motive de spaţiu.)

3.3. Simularea funcţionării unei staţii intermediare de pompare

Exemplul prezentat în continuare evidenţiază o altă facilitate a modelului şi programului de calcul elaborate.

Din analiza rezultatelor găsite în cazul de la pct. 2 s-a constatat că pierderile de sarcină pe segmentul de reţea din avalul conductei 30 inclusiv, sînt foarte mari şi reclamă o presiune activă atît de mare (78,29 mH_2O) la sursa II pentru a asigura sarcina de 60 mH_2O pe tur la ultimul consumator (PT 93).

Dacă pe conducta 30 se admite o staţie de pompare intermediară, care introduce presiunea activă $P_{30} = 13$ mH_2O, iar la cele două surse se reduc presiunile active cu 25% la S I şi respectiv cu 10 mH_2O la S II, menţinînd celelalte date identice ca în cazul regimurilor nominale de funcţionare separată, se va obţine

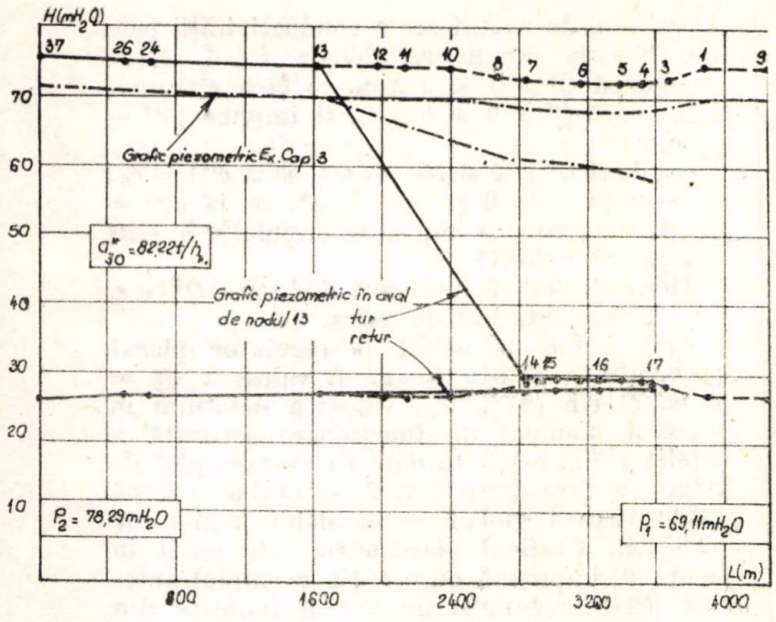


Fig. 9

graficul piezometric din figura 11. El demonstrează că, în aceste condiții, restul rețelei funcționează normal, dar se obține o importantă economie de energie de pompare față de exemplul de la pct. 2, prin reducerea presiunilor active la CET-uri, unde se tranzitează debite foarte mari. În același timp, și PT din avalul stației de pompare intermediare au asigurate presiunile minime necesare pe tur.

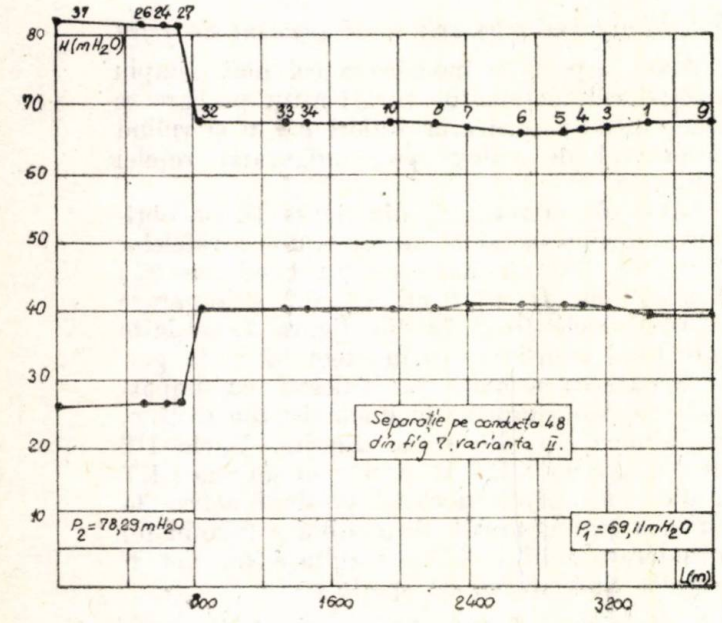


Fig. 10

Concluzii

Articolul de față ilustrează doar cîteva dintre posibilitățile de aplicare a modelului matematic detaliat în [1], la simularea regimurilor hidraulice staționare în rețele complexe de termoficare de mari dimensiuni. Este evident că gama analizelor poate fi extinsă și aprofundată considerabil, pe baza experienței și nevoilor specialiștilor din proiectarea și exploatarea sistemelor de alimentare centralizată cu căldură.

Notă. Autorii așteaptă cu interes sugestii și aprecieri critice asupra prezentei lucrări.

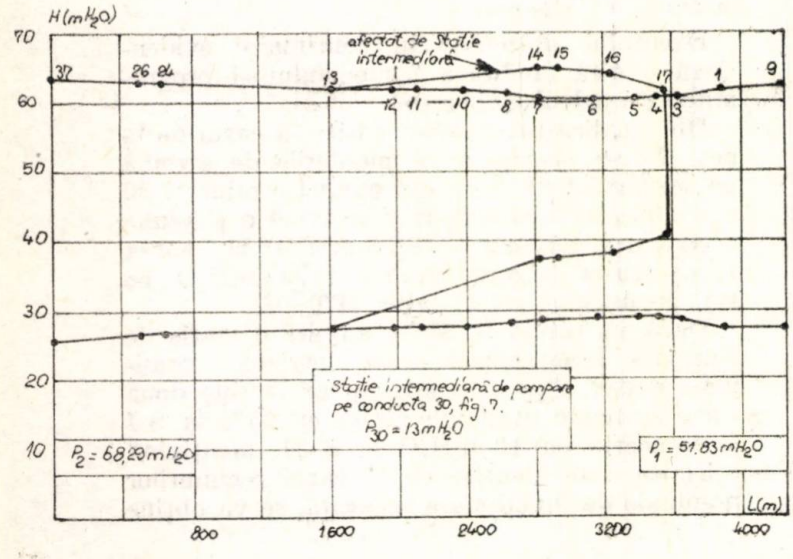


Fig. 11

Bibliografie

[1] Popa, R., Leca, A., Niculescu N., Uță, I. *Model matematic pentru simularea regimurilor hidraulice de funcționare a sistemelor interconectate de termoficare cu apă caldă.* În : Energetica, 37, nr. 4—5, 1989, p.

[2] Athanasovici, V., Mușatescu, V., Dumitrescu, I. S. *Termoenergtică industrială și și termoficare.* Ed. Didactică și Pedagogică, București, 1981.

(Primit la 20 decembrie 1988, acceptat la 15 februarie 1989)

DIN TRECUTUL ELECTRIFICĂRII MUNICIPIULUI TIMIȘOARA

Introducere

Dezvoltarea producerii și distribuției energiei electrice în municipiul Timișoara își are originea cu mulți ani în urmă și a avut loc paralel cu dezvoltarea municipiului.

Ca priorități semnalăm de la început că Timișoara a fost cel dintîi oraș din Europa care a introdus iluminatul electric public practic pe toate străzile [5, 6, 12] și printre primele orașe în care s-a călătorit cu tramvai electric.

Lucrarea de față își propune o scurtă incursiune în începuturile energetice ale Timișoarei, subliniind prioritățile energetice care au avut loc în municipiu.

1. Producerea energiei electrice

În scopul electrificării orașului s-a construit la Timișoara o centrală termică electrică și s-a realizat rețeaua electrică de către societatea „International Electric Company Limited" din Londra, în baza unui contract de concesiune încheiat de consiliul comunal al Timișoarei, la 15.12.1882, cu filiala din Viena a firmei menționate. Instalațiile au fost puse în funcțiune la 12.11.1984 și au servit inițial numai în scopul iluminării străzilor orașului [2, 4, 5, 6, 13].

Este de menționat că prima centrală electrică de distribuție publică din lume a fost construită la New York de către T.A. Edison și pusă în funcțiune la 03.09. 1882, adică cu numai doi ani înaintea instalațiilor din Timișoara [8].

Pînă în anul 1893, cînd au fost cumpărate de către orașul Timișoara, centrala și rețeaua electrică au trecut în anul 1887 în proprietatea societății „Anglo-American Electric Light Corporation Ltd", ca urmare a lichidării societății constructoare, iar în anul 1891 au fost preluate de societatea „Brush Electrical Engineering Comp. Ltd". Schimbarea proprietarilor se datora și faptului că, neexistînd contoare electrice, consumatorii făceau o mare risipă de energie electrică și ca urmare întreprinderea era nerentabilă.

Orașul Timișoara, cumpărînd toate instalațiile de producere, distribuire și utilizare a energiei electrice, a asigurat, începînd cu 01.01.1893 exploatarea lor în regie proprie. În administrarea orașului întreprinderea a devenit rentabilă și astfel a fost în măsură să dezvolte instalațiile în vederea asigurării consumului mereu crescînd.

La punerea în funcțiune, centrala termoelectrică era echipată cu două cazane tip Lancashire și un motor cu aburi compound-tandem de 300 CP și 100 rot/min, prevăzut cu două regulatoare, iar ca rezervă exista un motor cu aburi de putere mai mică. Motorul de 300 CP acționa, printr-o curea lungă, o transmisie care punea în funcțiune cinci generatoare serie de curent continuu cu aproximativ 700 rot/min. Aceste generatoare se reglau la un curent constant de 10 A, tensiunea variind cu rezistența circuitului în jurul a 2000 V. Patru generatoare alimentau cîte un circuit serie de iluminat public, iar al cincilea era de rezervă. Pînă în anul 1887 centrala furniza energie electrică exclusiv pentru iluminatul public.

Spre a se alimenta fără pericol atît locuințele, cît și teatrul, s-a decis introducerea și a sistemului de curent alternativ monofazat la tensiunea de 105 V, 42 Hz. În acest scop s-a instalat un grup compus dintr-un motor cu aburi, cu piston, de 160 CP, și dintr-un generator electric monofazat de 80 kW, cu tensiunea de 2000 V și frecvența de 42 Hz, fabricație Ganz. Reducerea tensiunii pentru alimentarea consumatorilor se făcea prin transformatoare uscate, care începuseră să fie fabricate de firma Ganz din Budapesta.

În măsura impusă de necesități, centrala a fost înzestrată cu noi cazane de aburi și grupuri electrogene, după după cum rezultă din tabelele 1 și 2.

În anul 1900 s-a hotărît înlocuirea mașinilor vechi cu agregate noi, trecîndu-se la sistemul curentului alternativ bifazic cu patru conductoare, necatenat.

În anul 1903, orașul Timișoara a preluat tramvaiele, între timp electrificate, furnizîndu-le curent începînd cu anul 1904.

Proiectul pentru construirea unei centrale hidroelectrice pe canalul Bega, elaborat în anul 1908, s-a finalizat prin punerea în funcțiune, la 03.05.1910 a centralei hidroelectrice echipată cu trei turbine Francis orizontale, triple, cuplate direct la generatoare, grupuri identice, turbină Francis orizontală Ganz Danubius de 660 CP și generator electric Ganz de 400 kW, 2 × 2100 V, sistem bifazat, 42 Hz. A fost prima centrală hidroelectrică-baraj de pe teritoriul României. Era conectată prin cablu subteran cu centrala termoelectrică de unde se distribuia energia electrică în oraș.

La data de 1 aprilie 1938 Întreprinderea de Producere și Distribuție a Energiei Electrice s-a unificat cu Întreprinderea de Tramvaie, sub denumirea de „Întreprinderile Electromecanice ale Municipiului Timișoara", titulatură sub care a funcționat pînă la naționalizare, în anul 1948.

Pentru alimentarea tramvaielor s-au instalat în anul 1904 două convertizoare Ganz (motor de 185 kW — generator) și o baterie de acumulatoare tampon cu o capacitate de 277 Ah. Crescînd consumul de energie electrică pentru tramvaie, s-au montat în timp noi convertizoare (situația centralizată poate fi urmărită în tabelul 3).

În continuă dezvoltare, Interprinderea Electromecanica a ajuns să dispună în 1942 de o putere totală instalată de 13655 kW, din care 12 500 kW în centrala termoelectrică și 1155 kW în centrala hidroelectrică, cu o producție anuală de 27,3 milioane kWh. Datorită bunei organizări era printre întreprinderile reprezentative ale țării, situație la care contribuise grupul de tehnicieni ai întreprinderii, în frunte cu directorul academician dr. docent Cornel Miklosi.

Dinamica puterii instalate în uzina electrică din Timișoara este prezentată în figurile 1, 2 și 3.

2. Dezvoltarea distribuției și a consumului de energie electrică

În rețeaua de distribuție s-au adoptat treptat variate soluții, Timișoara fiind în această privință unicul oraș din țară. Inițial s-a adoptat sistemul de curent continuu la tensiune de 2000 V; în anul 1888 s-a introdus sistemul monofazat 2000 V, 42 Hz cu transformatoare coboritoare de tensiune 2000/100 V; în anul 1900 s-a adoptat sistemul bifazat 2 × 2000 V, cu transformatoare coboritoare 2000/105 V, 50 Hz; în anul 1926 s-a început trecerea la sistem trifazat 320/185 V, 42 Hz, iar mai tîrziu s-a adoptat sistemul trifazat 380/220 V, 50 Hz.

Pînă în anul 1924 rețeaua bifazată era în întregime aeriană. Pentru înlăturarea pericolului de accidente și a mări siguranța în funcționare, rețeaua primară din cartierul Cetate a fost pusă în cabluri subterane, la tensiune de 12 kV. Concomitent s-au executat posturi de transformare de 12000/380/220 V echipate cu transformatoare în ulei, de

Dinamica montării cazanelor de abur *Tabelul 1*

Nr. cazan	Fabricaţia	Anul instalării	Presiunea [at]	Temperatura [°C]	Producţia [t/h]	Combustibil folosit	Observaţii
1	Ganz-Danubius Sistem Babcock Wilcox	1903	12	350	2,5— 2,8	Lemne sau cărbuni	Scos din funcţiune 1937
4	Ganz-Danubius Sistem Babcock Wilcox	1906	12	350	3,4— 3,8	cărbuni	
5	Ganz-Danubius Sistem Babcock Wilcox	1906	12	350	3,4— 3,8	cărbuni	
6	Ganz-Danubius Sistem Babcock Wilcox	1908	12	350	3,8— 4,2	cărbuni	
7	Ganz-Danubius Sistem Bobcok Wilcox	1922	12	350	6,5— 7,5	cărbuni	Cazanele vechi nr. 2 şi 3 care lipsesc din acest tabel au fost demontate în 1937
8	Vulcan, sistem Babcock-Wilcox	1924	12	350	6,5— 7,5	cărbuni	
9	Sulzer cu grătar	1936	31	425	10 —13,5	cărbuni	
10	Sulzer cu grătar	1936	31	425	10 —13,5	cărbuni	

Tabelul 2

Dinamica montării grupurilor electrogene în centrala termoelectrică Timişoara

Fabricaţie	Anul instalării	Felul	Sistemul	Presiunea [at.]	Temperatura [°C]	Puterea [CP]	Turaţia [rot/min]	Fabricaţie	Tensiunea [V]	Intensitatea [A]	Puterea la cos φ = 0,7 [kVA]	Puterea la cos φ = 0,7 [kW]	Frecvenţa [Hz]
Maşini termice								Anternatoare					
Nicholson	1901	maşină cu piston	Proell	12	300	440	125	Ganz	2100	2,95	400	280	42
Nicholson	1901	maşină cu piston	Proell	12	300	440	125	Ganz	2100	2,95	400	280	42
Nicholson	1902	maşină cu piston	Proell	12	300	440	125	Ganz	2100	2,95	400	280	42
Nicholson	1904	maşină cu piston	Proell	12	300	771	125	Ganz	2100	2,170	712	500	42
Nicholson	1906	maşină cu piston	Doerfel	12	300	826	125	Ganz	2100	2,180	755	528	42
Lang	1913	turbină	Zoelly	12	300	3000	2520	Ganz	2100	2,710	2980	2080	42
Rateau	1926	turbină	Rateau	12	300	5500	2520	Vickers	10500	3,275	5000	3500	42
Wumag	1930	turbină	Zoelly	12	300	4500	2520	Siemens Schuckert	10500	3,230	4200	2940	42
ERSTE BRUNNER	1939	turbină	Brunner	11 / 29,5	300 / 400	6500	2520	Siemens Schuckert	10500	3,355	6500	4500	42

Dinamica montării convertizoarelor şi redresoarelor *Tabelul 3*

Fabricaţia	Anul instalării	Sistemul	Tensiunea [V]	Puterea [CP]	Intensitatea [A]	Tensiunea [V]	Puterea [kW]	Turaţia [t/min]
	Motor de curent alternativ					Dinam de curent continuu		
Ganz	1904	motor-dinam	2×2100	185	220	550	121	429
Ganz	1904	motor-dinam	2×2100	185	220	550	121	429
Ganz	1910	motor-dinam	2×2100	300	365	550	200,5	810
Ganz	1913	motor-dinam	2×2100	300	365	550	200,5	810
Ganz	1923	motor-dinam	2×2100	600	727	550	400	800
Brown Boveri	1930	redresor cu mercur	6×425	—	600	550	330	—
Brown Boveri	1938	redresor cu mercur	6×425	—	600	550	330	—

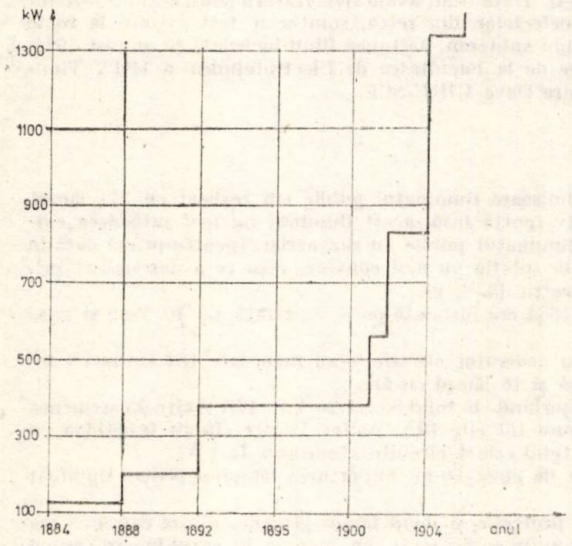


Fig. 1. Dinamica puterii instalate în uzina electrică din Timişoara, perioada 1884—1904.

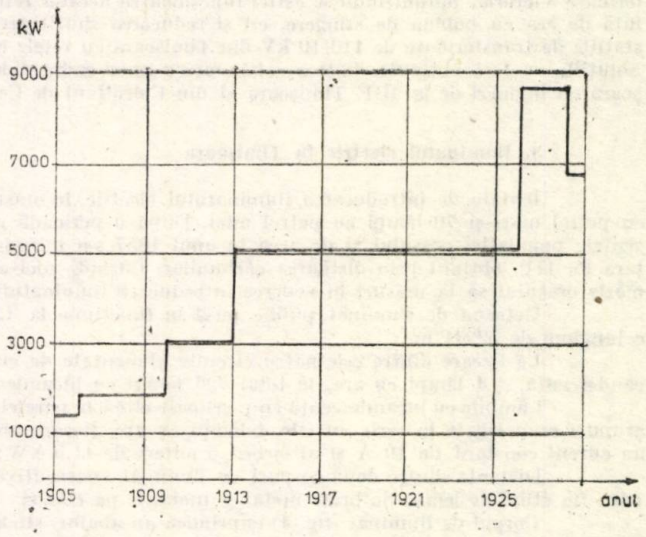


Fig. 2. Dinamica puterii instalate în uzina electrică din Timişoara, perioada 1905—1928.

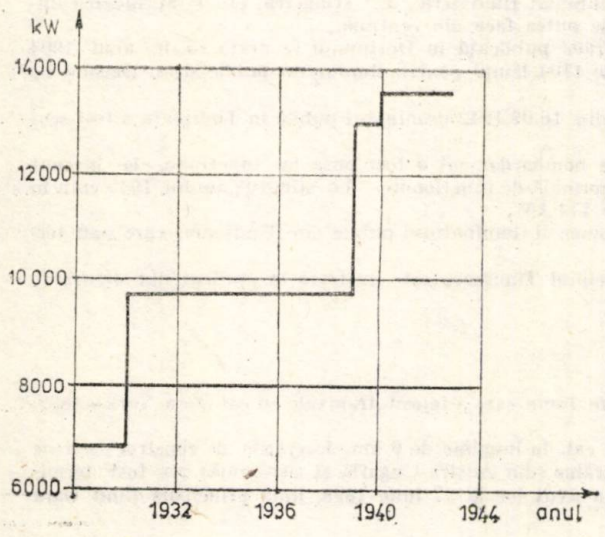


Fig. 3. Dinamica puterii instalate în uzina electrică din Timişoara, perioada 1929—1944.

puteri cuprinse între 50 și 250 kVA, desființîndu-se în acest cartier cea mai mare parte din numeroasele transformatoare mici, monofazate (uscate), care erau amplasate în special în podurile caselor. Rețeaua electrică de distribuție de joasă tensiune 3 × 380/220 V s-a executat în general aerian, pe stîlpi de lemn, protejați la bază în socluri de beton armat.

Cu privire la consumul de energie electrică este interesant de menționat că în anul 1929, acesta era la Timișoara de 130 kWh/locuitor, comparabil cu consumul mediu anual al altor țări în acea perioadă (de exemplu în Germania, în anul 1925 acesta a fost de circa 200 kWh/locuitor) [1].

În memoriul prezentat în 1931 [2] se precizează că „actuala distribuție suferă de cîteva inconveniente : existența sistemului bifazat, existența de linii aeriene și de multe transformatoare de capacitate mică cu randament anual redus", indicîndu-se astfel direcțiile în care trebuie acționat pentru mărirea siguranței și randamentului.

În perioada 1926—1950 s-au continuat lucrările în rețea, astfel încît pînă la sfîrșitul perioadei toți consumatorii au fost trecuți pe sistemul de distribuție trifazat, 42 Hz.

În perioada lipsei de putere din anii de după cel de al doilea război mondial, în 1952 s-a construit linia electrică aeriană de 35 kV Arad-Timișoara și stația de 35/10 kV Timișoara-Nord pentru a se putea ajuta orașul Timișoara cu disponibilul de circa 1600 kW, 42 Hz existent în centrala Arad.

În perioada 1955—1960 s-a făcut treptat trecerea la 50 Hz, folosindu-se pe rînd grupurile din centrala termoelectrică și unitățile diesel special instalate în centrala fabricii de zahăr, precum și stația de 110/35/10 kV Fratelia, alimentată din sistemul energetic național în 1957 printr-o LEA de 110 kV.

Ulterior s-au construit liniile de 110 kV, 220 kV și 400 kV, de interconexiune cu sistemul energetic național și stațiile de transformare aferente.

Construirea unor mari centrale electrice în țară, interconectarea celor șapte sisteme electrice regionale între anii 1954—1958, precum și constituirea SEN a dus la dezafectarea treptată a centralelor din municipiul Timișoara și din Banat în general.

Prima telecomandă din Banat s-a realizat la Timișoara prin telecomandarea la 20.11.1961, de la sediul întreprinderii IRE, a stației de 35 kV-T 70 din Timișoara, amplasată la capătul căii Dorobanților.

De menționat că la 25.11.1977 o nouă realizare de pionierat în domeniul exploatării rețelelor electrice, a fost introducerea rezistorului de limitare pentru tratarea neutrului rețelei de medie tensiune în cablu, în stația de transformare Victoria, optimizîndu-se astfel funcționarea acestor rețele [14]. Date fiind avantajele tratării neutrului cu rezistor față de cea cu bobină de stingere, cît și reducerea simțitoare a defectelor din rețea, soluția a fost extinsă la toate stațiile de transformare de 110/10 kV din Timișoara cu rețele în cablu subteran, acțiunea fiind încheiată în august 1981. Soluțiile au fost obținute dintr-o colaborare a unor cadre didactice de la Facultatea de Electrotehnică a IPTV Timișoara cu ingineri de la IRE Timișoara și din Colectivul de Cercetare Deva CIRE-SCP.

3. Iluminatul electric în Timișoara

Înainte de introducerea iluminatului electric, în orașul Timișoara iluminatul public era realizat cu 271 lămpi cu petrol mari și 70 lămpi cu petrol mici. După o perioadă relativ scurtă însă, acest iluminat nu mai satisfăcea exigențele populației orașului și de acea în anul 1857 s-a introdus iluminatul public cu gaz aerian (pentru prima dată în țară [5, 11]), obținut prin distilarea cărbunilor. Curînd nici această soluție nu mai convine, ceea ce a determinat primăria orașului să ia măsuri în vederea introducerii iluminatului electric [3, 4, 6].

Rețeaua de iluminat public pusă în funcțiune la 12.11.1884 era instalată pe o suprafață de 10 km² și avea o lungime de 59241 m.

La fiecare dintre cele patru circuite alimentate de cîte un generator electric, erau racordate 184 lămpi cu incandescență și 4 lămpi cu arc, în total 736 lămpi cu incandescență și 16 lămpi cu arc.

Lămpile cu incandescență erau grupate cîte 8 în paralel, absorbind în total 8 × 1,25 A = 10A și cîte 23 asemenea grupuri erau legate în serie cu cîte 4 lămpi cu arc, fiecare absorbind tot cîte 10A. Astfel, fiecare circuit funcționa cu un curent constant de 10 A și absorbea o putere de 11,5 kW; în total cele 4 circuite absorbeau 45 kW.

Distanța dintre două corpuri de iluminat consecutive era de circa 80 m. Suporturile lămpilor pentru iluminat erau fie stîlpi de lemn, fie brațe metalice montate pe clădiri.

Corpul de iluminat (fig. 4) cuprindea un abajur, sticla de protecție și două lămpi gemene, dintre care una era de rezervă și se punea în funcțiune cu ajutorul unui sistem de comutare cu contacte cu mercur în cazul în care prima lampă se ardea. Sensibilitatea extremă cu care erau reglate aceste comutatoare făceau ca, de multe ori, ambele lămpi să intre în fucțiune la simpla trecere pe sub lampă a unei trăsuri. Lămpile erau montate în dulii de lemn sau de porțelan. Becurile întrebuințate erau cu filament de cărbune, avînd un consum de 3,5 W/lm, iar după anul 1900 becuri cu filament metalic, al căror consum era de 1,4 W/lm. Circuitele de iluminat fiind serie, atît stingerea, cît și aprinderea iluminatului respectiv, precum și reglarea intensității luminoase se putea face din centrală.

În *Statistica pentru uzinele electrice din anul 1903—1904* publicată în Dortmund se arată că în anul 1904 Timișoara avea la o populație de 60 000 locuitori un număr de 1104 lămpi pentru iluminatul public și un consum de 240 000 kWh [6].

În timpul celui de-al doilea război mondial, începînd din 16.09.1942 iluminatul public în Timișoara a fost scos din funcțiune, cu excepția a 63 lămpi camuflate.

La 25.03.1945 partea de iluminat public neatinsă de bombardament a fost pusă în funcțiune, la început pînă la orele 22, iar apoi de la 09.05.1945 s-a revenit la durata normală de funcționare. La sfîrșitul anului 1945 erau în funcțiune 2 978 locuri de lampă cu o putere totală instalată de 174 kW.

În anul 1954 s-au început lucrările de centralizare a comenzii iluminatului public din Timișoara, care s-au terminat în anul 1955.

Evoluția în timp a instalațiilor de iluminat în municipiul Timișoara este ilustrată în graficul din figura 5.

4. Transportul urban de călători

Timișoara a fost primul oraș din România și al 5-lea din lume care a folosit tramvaie cu cai (New York—1852, primul din lume, Paris—1854, primul din Europa) [7, 10].

La 08.07.1869 s-a inaugurat prima linie de tramvai cu cai, în lungime de 6 km. Lucrările de construcție și de electrificare ale liniilor de tramvai executate de două societăți străine (din Austro-Ungaria și Germania) au fost terminate în 1899, iar intrarea în funcțiune a tramvaielor electrice a avut loc la 27 iulie 1899, linia principală fiind Gara de Nord — Gara Fabric, în lungime de 5 159 m.

De la 26.11.1904, cînd orașul a cumpărat întreaga avere mobilă și imobilă a societății de tramvaie, spre a dispune liber asupra acestui important mijloc de transport în comun, exploatarea a fost făcută de oraș, în baza unui regulament întocmit de Consiliul Comunal.

Creșterea populației orașului a impus în continuare devoltarea transportului în comun, dar cele mai multe realizări în acest domeniu au loc după 23 August 1944, cînd, pe lîngă lungimea liniei de tramvai, a crescut și numărul tramvaielor aflate în circulație.

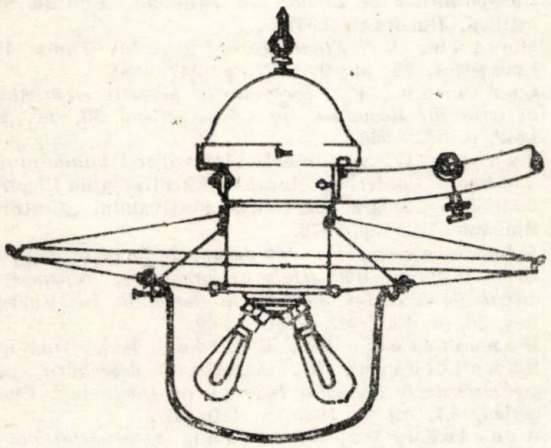


Fig. 4. Primul corp de iluminat montat pe străzile orașului Timișoara

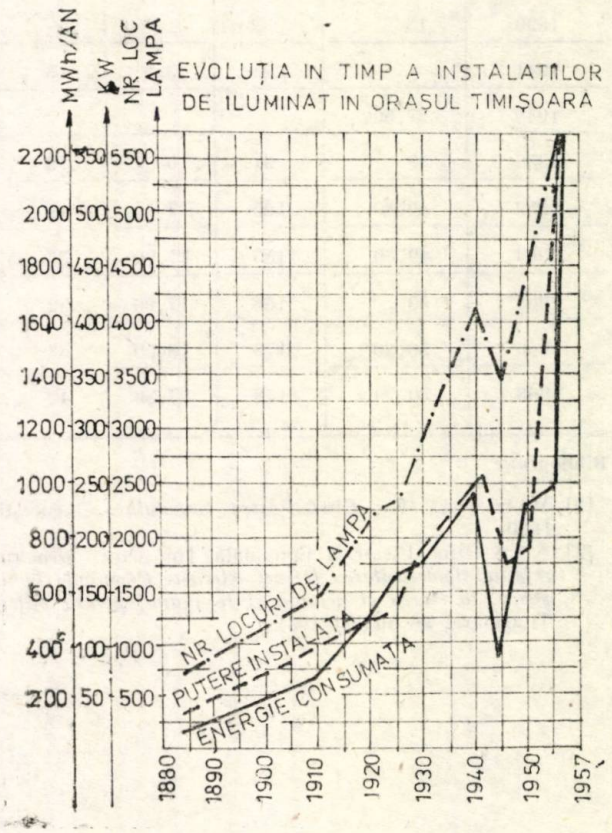


Fig. 5. Dinamica instalațiilor de iluminat în orașul Timișoara

În anul 1938 s-a întocmit proiectul pentru construirea unei linii de troleibuz (în limbajul localnicilor s-a încetățenit denumirea de firobuz). Materialele necesare montării liniei au fost furnizate de o firmă germană, iar montarea lor s-a terminat în anul 1941, prima linie de troleibuz între piața N. Bălcescu — Gara de Nord, fiind prima din țară (circulau troleibuze Fiat-Moreli).

Dinamica dezvoltării transportului urban de călători este redată în tabelul 4.

5. Preocupări actuale și tendințe de dezvoltare în viitor

Avînd în vedere problemele puse de criza energetică, s-au demarat o serie de acțiuni vizînd economisirea energiei electrice.

Începînd din anul 1973 se acordă o atenție deosebită sistemului de urmărire a energiei electrice absorbite de consumatori.

Optimizarea funcționării instalațiilor de înaltă și medie tensiune, avînd drept scop realizarea unui consum propriu tehnologic cît mai redus în condiții de siguranță mărită, constituie și în prezent un instrument prețios pentru stabilirea punctelor optime de debuclare a liniilor.

În anul 1983 este pusă în funcțiune prima instalație locală pentru prepararea apei calde menajere în cadrul întreprinderii IRET cu ajutorul energiei solare. Panoul solar a fost montat pe clădirea atelierului autobazei și furnizează apă caldă muncitorilor din atelier.

Se urmărește în continuare extinderea termoficării municipiului.

În încheiere trebuie arătat că azi problemele energetice preocupă în cel mai înalt grad pe energeticienii timișoreni, care urmăresc asigurarea necesarului de energie electrică al orașului și județului în condiții de siguranță și ergonomicitate.

Tabelul 4

Dinamica dezvoltării transportului urban de călători în Timişoara

Anul punerii în funcţiune	Tramvaie		Troleibuze	
	Lungime linie [km]	Număr vagoane	Lungime linie [km]	Număr vagoane
1899	13	2	—	—
1941			3,5	3
1943	37,50			
1955	49	91	5	12
1959	49,80	105	9	11
1964	49,80	155	17,90	26
1965	50	168	17,90	32
1966	50,20	176	18,50	38
1968	50,20	178	27,30	42

Bibliografie

[1] Miklosi, C. *Electrificarea Banatului.* Bucureşti, 1930.

[2] * * * Uzina Electrică Comunală Timişoara. *Memoriu referitor la dezvoltarea Uzinei Electrice Comunale Timişoara, la starea ei actuală şi la planul pentru viitor.* Timişoara, 26 august 1931.

[3] Catona, V. *Monografia uzinei electrice Timişoara,* Tipografia Românească Timişoara, 1934.

[4] Deheleanu, V., Indriesu, S. *Monografia întreprinderilor electromecanice municipale Timişoara.* Tipografia Românească, Timişoara. 1944.

[5] Dinculescu, C. ş.a. *Istoria energeticii şi electrotehnicii în România,* vol. I. Editura Tehnică, Bucureşti, 1981.

[6] Maglaviceanu, Gh şi Putnoky, E. *Un secol în slujba luminii.* Timişoara, 1984.

[7] Cebuc, Al., Mocanu, C. *Din istoria transporturilor de călători în România.* Editura Ştiinţifică, Bucureşti, 1967.

[8] Morţun, C. *Electrificarea judeţului Timiş.* În: Energetica, 25, nr. 9, 1977, p. 347—350.

[9] Cartianu, P. *Începuturile folosirii electricităţii pe teritoriul României.* În: Energetica, 30, nr. 12, 1982, p. 562—566.

[10] Ivaşcu, C. *Din istoria electrificării municipiului Timişoara.* Conferinţă ţinută la Facultatea de Electrotehnică Timişoara, în cadrul Festivalului „Cîntarea României", 25 mai 1978.

[11] Dinculescu, C. *100 de ani de la realizarea primelor instalaţii industriale de producere, transport şi distribuţie de energie electrică în România.* În: Energetica, 30, nr. 12, 1982, p. 567—569.

[12] Panaitescu, G., Costin, E., Dincă-Panaitescu, M. *Aspecte ale dezvoltării energiei electrice în România. Istoric şi realizări.* În: Energetica, 17, nr. 9, 1969, p. 410—415.

[13] Ardelean, V., Zăvoianu, I. *Judeţul Timiş.* Editura Acad. R.S. România, Bucureşti, 1979.

[14] Nemeş, M., Ivaşcu, C., Velicescu, C. *Tratarea neutrului prin rezistor de limitare în reţelele de distribuţie de medie tensiune.* Contract, catedra de Electroenergetică, beneficiar IRE Timişoara, 1977.

Ş.I. dr. ing. CORNELIA IVAŞCU, Institutul Politehnic Traian Vuia, Timişoara

IOAN D. STĂNCESCU

1911—1988

În noiembrie 1988 s-a stins din viaţă, la vîrsta de 77 ani, profesorul Ioan D. Stăncescu, aflat încă în plină putere de creaţie ştiinţifică.

Şi-a înscris numele pe placa premianţilor de onoare de la liceul din Ploieştiul natal. Apoi a făcut studii strălucite la Politehnica din Charlottenburg—Berlin, unde în anul 1936 a primit diploma de inginer cu menţiunea de excepţie „summa cum laude" de la facultatea de electrotehnică, în specialitatea producerii energiei termice şi electrice, fiind distins cu premiul fundaţiei Siemens.

Traiectoria profesiunii a început la întreprinderea Siemens — Schuckert, în Berlin, în domeniul construcţiei centralelor termoelectrice, alături de doctorul K. Schröder, apoi la Societatea de Gaz şi Electricitate din Bucureşti, participînd la introducerea gazului natural şi la crearea infrastructurii magistralelor de gaz de pe cuprinsul capitalei.

Evoluţia accelerată a energeticii româneşti după 23 august 1944 şi primii paşi în electrificarea socialistă a ţării îl găsesc pe Ioan D. Stăncesu în Ministerul Energiei Electrice, unde timp de două decenii a activat ca director tehnic în Direcţia Electrificării şi a contribuit la deciziile asupra obiectivelor şi etapelor realizării Sistemului Energetic Naţional. Bun tehnician şi totodată un dotat organizator de producţie şi cunoscător al problemelor şi realizărilor din alte ţări avansate în domeniul alimentării cu energie, a militat permanent ca dezvoltarea social-economică să fie făcută prin folosirea raţională a energiei şi nu numai prin extinderea folosirii surselor de energie. Criza energetică mondială din 1973 avea să-i dea dreptate.

De numele lui Ioan D. Stăncescu este legată promovarea şi extinderea producerii combinate de energie electrică şi căldură în ţara noastră şi alimentarea prin termoficare a noilor platforme industriale şi a marilor centre urbane sistematizate.

A fost unul dintre primii iniţiatori pe plan mondial în acest domeniu, fundamentînd bazele teoretice ale termoficării şi acţionînd în calitatea pe care a avut-o în MEE pentru realizarea practică.

Numit în 1940 cadru didactic al Facultăţii de Electrotehnică şi Energetică, nou înfiinţată la Institutul Politehnic Bucureşti, a contribuit la educarea tehnică a multor generaţii, transmiţînd cunoştinţele şi experienţa sa în domeniile gospodăririi energiei, termoenergeticii şi termoficării, precum şi cunoştinţele necesare tinerilor ingineri privind organizarea, planificarea şi conducerea în ramura energiei.

A fost primul redactor responsabil al revistei noastre, în care calitate a luptat ani de-a rîndul pentru ridicarea prestigiului profesional şi ţinuta ştiinţifică a „Energeticii"la nivelul revistelor de specialitate din lume.

Totodată, profesorul I.D. Stăncescu a făcut parte din consiliile redacţionale ale revistelor VGB Kraftwerkstechnik şi Destrict Heating International.

Între 1970 şi 1980 a activat în calitate de consilier şi expert energetic internaţional în cadrul ONU, lărgindu-şi aria preocupărilor asupra unui mare număr de aspecte specifice din punct de vedere energetic ale ţărilor în curs de dezvoltare, precum şi în problemele spinoase ale energeticii din ţările dezvoltate industrial.

Promotor al schimbului de păreri şi de experienţă pe plan internaţional şi în calitatea sa de secretar al Comitetului Naţional Român al Conferinţei Mondiale a Energiei, a avut o contribuţie esenţială la pregătirea şi desfăşurarea cu succes a celui de al nouălea congres al acestei organizaţii la Bucureşti în 1971.

A promovat concepţia sa tehnică în domeniul energeticii în numeroase lucrări şi articole publicate în ţară şi în străinătate şi în comunicări de prestigiu la conferinţa internaţională. Din numeroasele sale lucrări apreciem că vor rămîne ca referinţă în literatura de specialitate cartea privind „*Bazele tehnice şi economice ale termoficării*" mult apreciată la noi şi tradusă în mai multe limbi, precum şi ultimul său volum „*Planificarea dezvoltării energiei şi a energeticii nucleare în ţările în curs de dezvoltare*", întocmit pentru Agenţia Internaţională de Energie Atomică, Viena, apărut în 1985.

Prin stingerea din viaţă a profesorului Ioan D. Stăncescu, energetica românească pierde un reprezentant de frunte.

Colegiul de redacţie readuce în amintirea cititorilor personalitatea remarcabilă a primului redactor şef al revistei.

Colegiul de redacţie

СОДЕРЖАНИЕ

УПРАВЛЕНИЕ И АВТОМАТИКА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

МАРИУС ПОМЫРЛЯНУ, ЛИЯ БЕЖУСКУ: Расчет близких к критическим установившихся режимов электроэнергетических систем 241—250

МИХАЙ МОГА, АДРИАН БУТА, ДЭНУЦ ДЭНЕАСА: Определение, на основе данных каталогов, электрических характеристик эквивалентной схемы индукционного двигателя с закороченным ротором 250—258

ТЕПЛОЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

ГЕОРГЕ КЕРЧА, КРЭИЦА МАНГУ: Зависимость между тепловой нагрузкой пояса горелок и температурой факела в топочной камере паровых котолов, работающих на угольной пыли 259—262

МАГДАЛЕНА МАТЕЙ, ИОН ОПРЯ, НИКОЛАЕ МАНЯ, ЛУЧИАН МИХЭЕСКУ, ГЕОРГЕ ХАШКЭУ, НИКОЛАЕ ПЭНОЮ, КРИСТИНА ДИКУ, ФЛОРИН РАЙКУ: Стендовые исследования эрозии котельных теплообменников, вызванной воздействием золы 262—269

ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ

НИКОЛАЕ НИКУЛЕСКУ, ИОН УЦЭ, АУРЕЛИУ ЛЕКА, РАДУ ПОПА: Прикладные исследования математической модели имитации рабочих гидравлических режимов объединенных систем теплофикации, с горячей водой 270—278

ИСТОРИЯ ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ

КОРНЕЛИЯ ИВАШКУ: Из истории электрификации г. Тимишоары 279—284

НОВОСТИ

ПЕРСОНАЛИ: Иоан Д. Стэнческу 285

INHALT

DIE LEITUNG UND REGELUNGSTECHNIK DRR VERBUNDNETZE

MARIUS POMÂRLEANU, LIA BEJUSCU: Die Berechnung der stationären Regime der sich nahe an kritischen Lagen befindenden Verbundnetzen 241—250

MIHAI MOGA, ADRIAN BUTA, DĂNUȚ DĂNEASA: Die Bestimmung anhand der Katalog-Kennwerte der elektrischen Parameter des äquivalenten Kreislaufs des Induktionsmotors mit kurzgeschlossenem Rotor 250—258

WÄRMEKRAFTWERKE

GEORGE CHERCEA, CRĂIȚA MANGU: Die Wechselbeziehung zwischen der Wärmebelastung des Brennergürtels und der Flammentemperatur bei den kohlenstaubgefeuerten Dampfkesseln 259—262

MAGDALENA MATEI, ION OPREA, NICOLAE MANEA, LUCIAN MIHĂESCU, GHEORGHE HAȘCĂU, NICOLAE PĂNOIU, CRISTINA DICU, FLORIN RAICU: Forschungen auf einem Versuchsstand der ascheinduzierten Erosion an den Wärmeaustauschern der Dampferzeuger 262—269

WÄRMEVERSORGUNG

NICOLAE NICULESCU, ION UȚĂ, AURELIU LECA, RADU POPA: Aufwendungen auf ein mathematisches Modell zur Simulation der hydraulischen Betriebsregimen der Fernheizungsverbundsysteme mit warmem Wasser 270—278

DIE GESCHICHTE DER ENERGIEWIRTSCHAFT

CORNELIA IVAȘCU: Aus der Geschichte der Einführung der Elektrizität in der Grosstadt Timișoara 279—284

NEUIGKEITEN

DE PERSONIS: Ioan D. Stăncescu 285

SOMMAIRE

CONDUITE ET AUTOMATION DES RÉSEAUX D'ENERGIE

MARIUS POMÂRLEANU, LIA BEJUSCU : Le calcul des régimes stationnaires des réseaux électriques interconnectés à la proximité des états critiques 241—250

MIHAI MOGA, ADRIAN BUTA, DĂNUȚ DĂNEASA : Détermination à base des données de catalogue des paramètres électriques du circuit équivalent du moteur d'induction à rotor en court-circuit 250—258

CENTRALES THERMIQUES

GEORGE CHERCEA, CRĂIȚA MANGU : La corrélation entre la charge thermique du cordon des brûleurs et la température de la flamme aux foyers des chaudières brûlant du charbon pulvérisé 259—262

MAGDALENA MATEI, ION OPREA, NICOLAE MANEA, LUCIAN MIHĂESCU, GHEORGHE HAȘCĂU, NICOLAE PĂNOIU, CRISTINA DICU, FLORIN RAICU : Recherches sur banc d'essais concernant l'érosion par cendres des échangeurs de chaleur des chaudières à vapeur 262—269

CHAUFFAGE URBAIN ET INDUSTRIEL

NICOLAE NICULESCU, ION UȚĂ, AURELIU LECA, RADU POPA : Applications du modèle mathématique pour la simulation des régimes hydrauliques de fonctionnement des systèmes interconnectés de production combinée à l'eau chaude 270—278

HISTOIRE DE L'ÉLECTRIFICATION

CORNELIA IVAȘCU : Histoire de l'électrification de la ville Timișoara 279—284

NOUVEAUTÉS

DE PERSONIS : Ioan D. Stăncescu 285

CONTENTS

ENERGY SYSTEMS CONTROL AND AUTOMATION

MARIUS POMÂRLEANU, LIA BEJUSCU : Steady State Calculation of Power Grids Close to Critical States 241—250

MIHAI MOGA, ADRIAN BUTA, DĂNUȚ DĂNEASA : Catalogue Data Based Determination of Electrical Parameters of the Equivalent Circuit of the Squirrel Cage Induction Motor 250—258

THERMAL POWER PLANTS

GEORGE CHERCEA, CRĂIȚA MANGU : Correlation Between the Thermal Load of the Burner Belt and the Flame Temperature of Coal Dust Fired Steam Boilers Furnaces 259—262

MAGDALENA MATEI, ION OPREA, NICOLAE MANEA, LUCIAN MIHĂESCU, GHEORGHE HAȘCĂU, NICOLAE PĂNOIU, CRISTINA DICU, FLORIN RAICU : Test Stand Studies on Ash Induced Erosion to Steam Boilers Heat Exchangers 262—269

HEAT SUPPLY

NICOLAE NICULESCU, ION UȚĂ, AURELIU LECA, RADU POPA : Mathematical Model Appplications for the Hydraulic Regimes Simulation of Interconnected Hot Water District Heating Systems 270—278

THE HISTORY OF ENERGY.

CORNELIU IVAȘCU : The History of Electricity Supply of Timișoara 279—284

NEWS

DE PERSONIS : Ioan D. Stăncescu 285

COLEGIUL DE REDACȚIE

Președinte, redactor responsabil : **dr. ing. Eugeniu Pavel**
Redactori responsabili adjuncți : **dr. ing. Mihai G. M. Pop, dr. ing. Gheorghe Bălan, ing. Radu Opincaru**
Secretar de redacție : **dr. ing. Teodor Popa**
Gestiunea financiară : **ec. Pompiliu Silvășanu**

Orientări în energetică : **dr. ing. Mario Duma**
Energetica în unități economice : **ing. Ion Măiereanu, ing. Alexandru Florescu**
Dezvoltarea sistemelor energetice : **dr. ing. Nicolae Armencoiu dr. ing. George Manolescu**
Conducerea și automatica SE : **dr. ing. Victor Romert dr. ing. Jean Constantinescu**
Centrale termoelectrice : **conf. dr. ing. Costin Moțoiu, ing. Romeo Zbarcea**
Centrale hidroelectrice : **dr. ing. Gheorghe Luca**
Centrale nuclearoelectrice : **ing. Adrian Georgescu, prof. dr. ing. Nicolae Dănilă, ing. Mircea Tarța**
Rețele electrice : **ing. Dinu Voinea, ing. Nicolae Georgian**
Alimentare cu căldură : **ing. Nicolae Niculescu**
Surse și tehnologii noi : **ing. Constantin Popescu**
Tehnologii chimice în energetică. Poluare : **dr. chim. Maria Maftei**
Organizarea producției și a muncii : **ing. Miron Popescu**
Terminologia energetică : **dr. ing. Iosif Cserveny**
Istoria electrificării : **ing. Paul Cartianu**
Noutăți : **ing. Mihai Nistor, ing. Romulus Sfichi**
Centre universitare și industriale :
București : **conf. dr. ing. Alexandru Selischi**
Iași : **prof. dr. ing. Alexandru Poeată**
Timișoara : **prof. dr. ing. Viorel Negru**
Cluj-Napoca : **conf. dr. ing. Silviu Darie**

Acest număr a fost realizat cu ajutorul următorilor secretari ai grupelor de specialitate :

— **dr. ing. Marius Pomârleanu** — Conducerea și automatica sistemului energetic
— **ing. Anton Roșu** — Centrale termoelectrice
— **ing. Cornel Uță** — Alimentare cu căldură

Revista „ENERGETICA" este editată și administrată de Institutul de Cercetări și Modernizări Energetice prin Oficiul de Informare-Documentare pentru Energetică.
Vasile Pleșca — șef OIDE, **Ana Maria Chivu** — redactor

Revista ENERGETICA — publicație lunară, reflectă preocupările spirituale și realizările materiale în domeniul energeticii. Funcționează în conformitate cu *ROF* aprobat cu Ordinul nr. 97/1987, publicat în numărul 4/87 al revistei.

Elaboratorii de lucrări propuse pentru publicare sînt rugați să consulte *„Îndrumările pentru întocmirea și prezentarea lucrărilor propuse pentru a fi publicate în revista Energetica"*, *„Ghidul pentru avizarea lucrărilor propuse peniru a fi publicate în revista Energetica"* apărute în numărul 12/86, precum și *„Planul tematic al revistei Energetica pe anii* 1987 — 1990" publicat în nr. 6/1989 al revistei.

Instituțiile pot achita abonamentele în contul de virament nr. 30.11.8.01.01 — BNR.S.R. fil. sector 3 sau direct la redacție. Costul unui abonament : 114 lei anual ; costul unui exemplar : 12 lei.

41 401

Redacția și administrația : București 79619, ICEMENERG, Bd. Energeticienilor nr. 8, sect. 3
Telefon : 20.67.30, 21.46.30

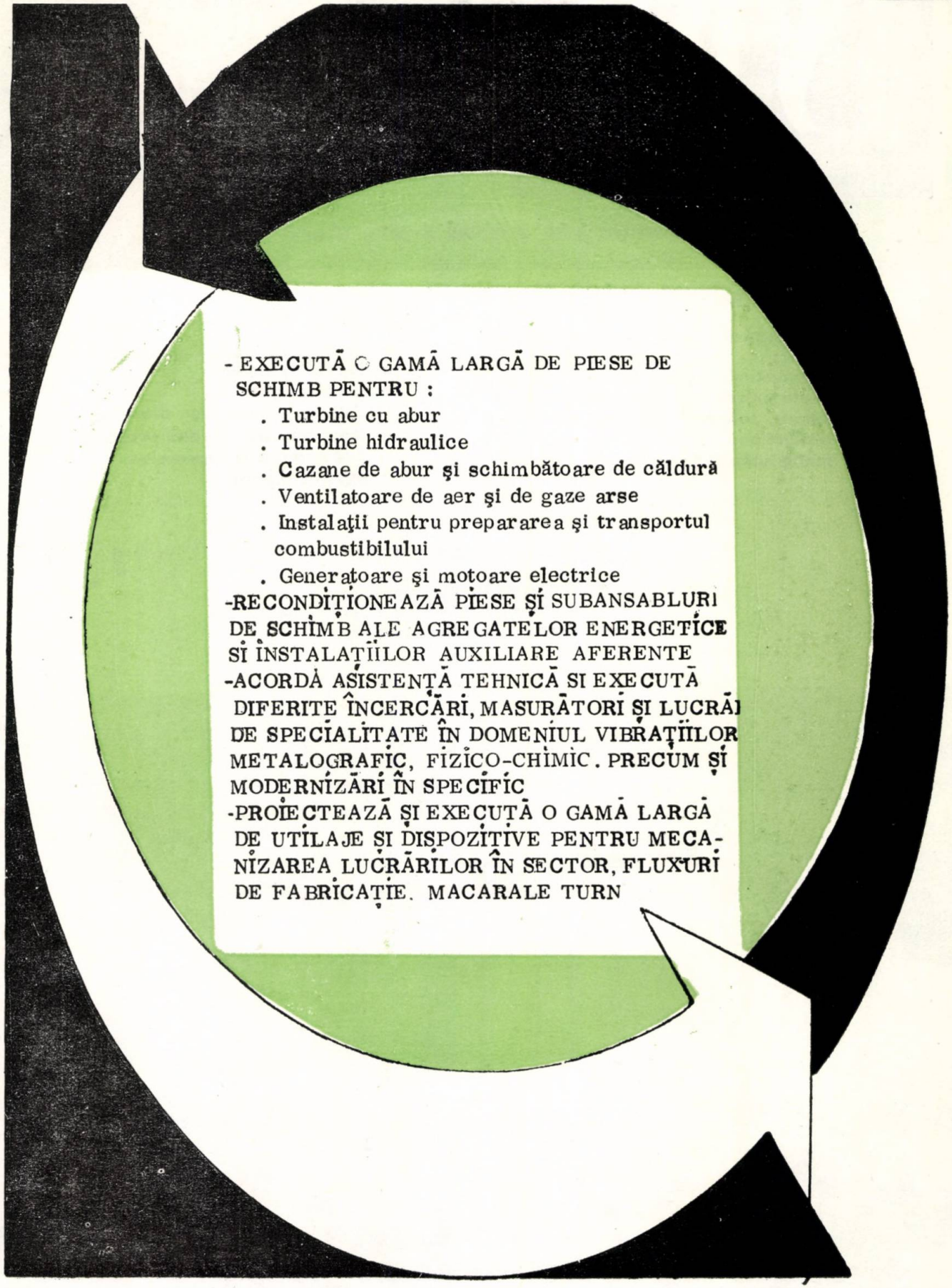
ANNOUNCEMENTS FOR READERS ABROAD

- **The review „Energetica" can send on request from publications abroad reports translated in one of the worldwide spoken languages**
- **The review "Energetica" proposes a publication exchange with similar reviews and in relating fields**
- **The review "Energetica" provides and publishes or introduces books on energy received at the editorial office. Reviews and presentations of books sent on this purpose to the editorial office can be published as well**
- **The review "Energetica" publishes on request from authors abroad reports of energy of other materials : technical and scientific news, inventions-innovations, information about technical and scientific symposia, etc. written in one of the worldwide spoken languages**
- **Readers from abroad can subscribe through : ROMPRESFILATELIA — sectorul import-export, P.O. Box 12—201, telex 10376 prsfir, Calea Griviței nr. 64—66, București — România.**

Tiparul : Întreprinderea Poligrafică „Informația", București, str. Brezoianu 23—25 c. 1303

ENERGOREPARAŢII

B-dul Mărăşeşti nr. 2, sectorul 5, Bucureşti.
Telefon: 23.26.40. Telex: 011635. - Cod poştal 774170



- EXECUTĂ O GAMĂ LARGĂ DE PIESE DE SCHIMB PENTRU :
  - . Turbine cu abur
  - . Turbine hidraulice
  - . Cazane de abur şi schimbătoare de căldură
  - . Ventilatoare de aer şi de gaze arse
  - . Instalaţii pentru prepararea şi transportul combustibilului
  - . Generatoare şi motoare electrice

-RECONDIŢIONEAZĂ PIESE ŞI SUBANSABLURI DE SCHIMB ALE AGREGATELOR ENERGETICE ŞI INSTALAŢIILOR AUXILIARE AFERENTE

-ACORDĂ ASISTENŢĂ TEHNICĂ SI EXECUTĂ DIFERITE ÎNCERCĂRI, MASURĂTORI ŞI LUCRĂRI DE SPECIALITATE ÎN DOMENIUL VIBRAŢIILOR METALOGRAFIC, FIZICO-CHIMIC. PRECUM ŞI MODERNIZĂRI ÎN SPECIFIC

-PROIECTEAZĂ ŞI EXECUTĂ O GAMĂ LARGĂ DE UTILAJE ŞI DISPOZITIVE PENTRU MECANIZAREA LUCRĂRILOR ÎN SECTOR, FLUXURI DE FABRICAŢIE. MACARALE TURN

I.S.P.H.

INSTITUTUL DE STUDII ŞI PROIECTĂR

HIDROENERGETICE

29, Republicii Blvd., 79669 Bucharest,
Romania,
Phone 147270, Telex 11-443 i. s. p. h. r.

ISPH-Designing Institute with complex profile offers :

SPECIAL ACTIVITIES

- hydrological and hydrogeological studies
- engineering-geological investigations
- geotechnical and geophysical explorations, soil and rock mechanic investigations
- topographical surveys and mapping

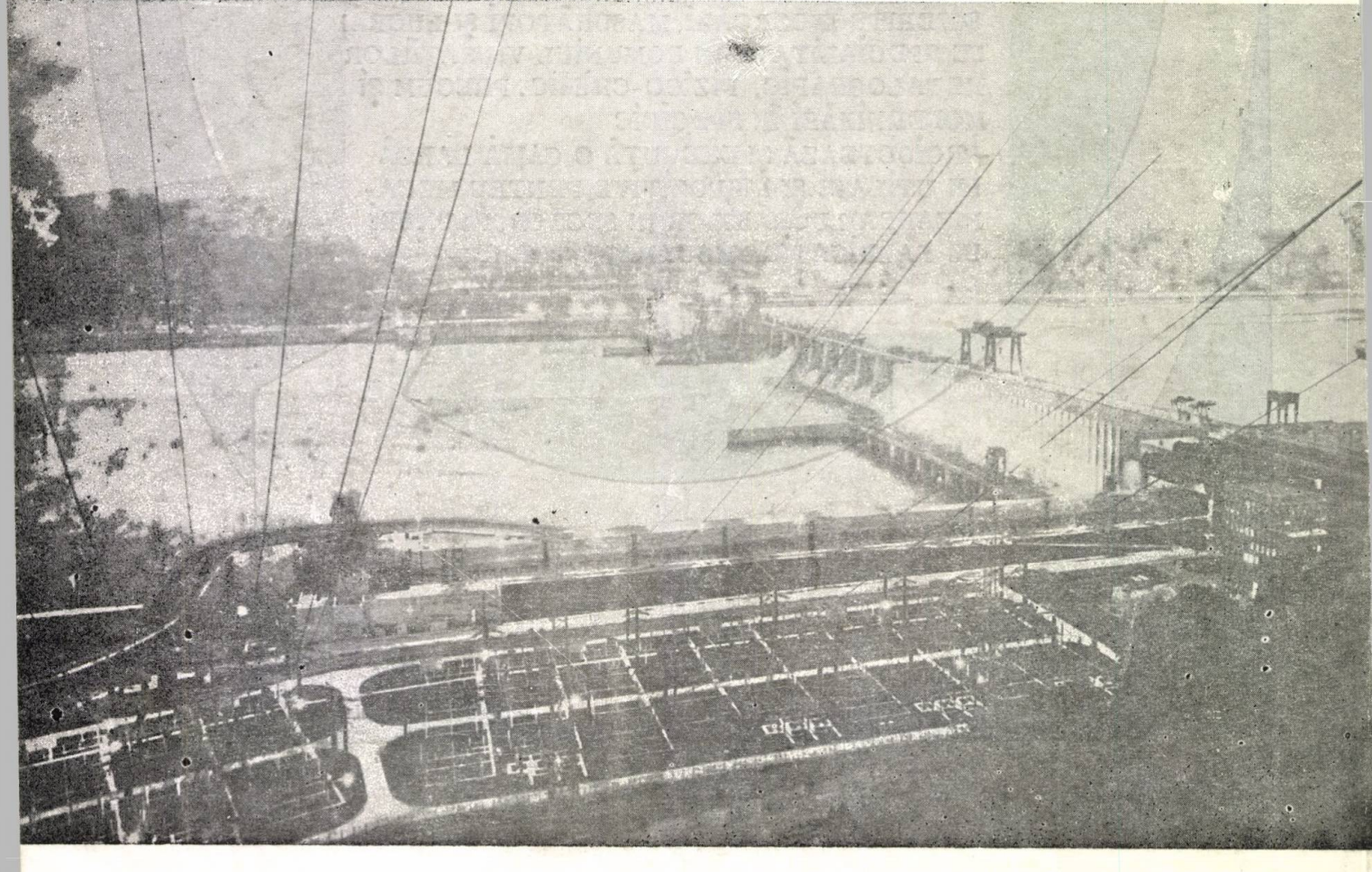
SPECIAL SERVICES

- preliminary studies and designs
- feasibility studies
- final designs
- detailed construction drawings
- tender documents and contracts
- inspection and supervision expert's reports

RIVER BASIN DEVELOPMENT STUDIES

- hydroelectric developments
- multipurpose hydraulic developments
- special hydraulic structures

1990 JUN 2 0



E 2039

MW

REFERÁLVA

R 1990 -01- 09

7

Ete

Cuprins

CENTRALE TERMOELECTRICE

TEODOR OROVEANU, ION SPULBER: **Cîteva considerații asupra consumului de energie la transportul lichidelor prin conducte** 289—291

CENTRALE HIDROELECTRICE

IOAN GHIUȚĂ, ROMULUS SFICHI: **Aducțiuni sub presiune din beton armat turnat la fața locului în cadrul amenajărilor hidroenergetice de putere mică** 292—294

CENTRALE NUCLEAROELECTRICE

RODRIG LUCREȚEANU, TRAIAN MAUNA: **Un punct de vedere privind calitatea apei de răcire la centralele nuclearoelectrice de tip CANDU** 295—298

REȚELE ELECTRICE

DOREL CERNOMAZU: **Contribuții la creșterea siguranței în exploatarea comutatoarelor pentru reglajul în stare deconectată a tensiunii transformatoarelor cu puteri pînă la 1600 kVA** 299—303

ADRIAN BARABOI, EMILIAN FURNICĂ: **Tendințe actuale în tehnica echipamentelor de comutație în vid** 304—309

LAURENȚIU GOIA: **Considerații asupra unor prevederi din standardele revizuite privind protecția împotriva electrocutărilor** 310—315

ALIMENTARE CU CĂLDURĂ

RADU POPA, VICTOR ATHANASOVICI: **Model matematic și program de calcul pentru determinarea variantei optime de dezvoltare a unei rețelei de termoficare existente** 316—321

ISTORIA ELECTRIFICĂRII

PAUL CARTIANU: **140 de ani de la apariția celei dintîi cărți tratînd despre electricitate în limba română** 322

NOUTĂȚI

DIN ENERGETICA MONDIALĂ 298, 323—328
CRONICĂ 329—331
RECENZIE 332
DE PERSONIS 333

energetica

VOLUMUL XXXVII

BUCUREȘTI

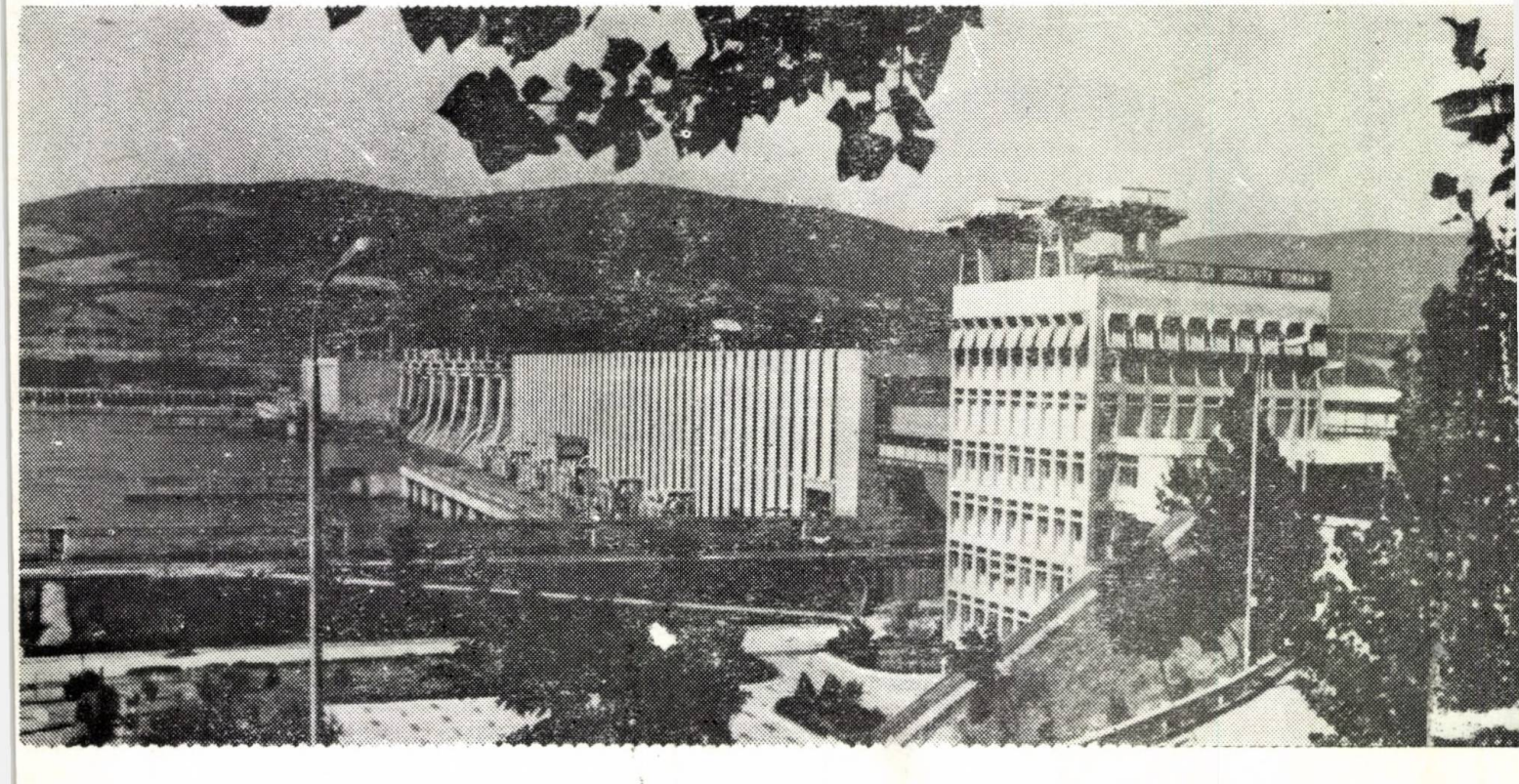
IULIE 1989

TAGCH

TRUSTUL ANTREPRIZA GENERALA DE CONSTRUCTII HIDROENERGETICE BUCURESTI

CALEA DOROBANTILOR NR. 103-105 TELEFON: 79 64 30
SECTOR 1 COD: 78.072 TELEX: 10244 P

execută în ţară şi în străinătate centrale hidroelectrice şi lucrări hidrotehnice complexe: baraje, galerii de aducţiune, galerii de fugă, canale, diguri, noduri de presiune şi lucrările de organizare tehnologică aferente.



ENERGETICA

ORGAN AL MINISTERULUI ENERGIEI ELECTRICE ŞI AL CONSILIULUI NAŢIONAL AL INGINERILOR ŞI TEHNICIENILOR DIN REPUBLICA SOCIALISTĂ ROMÂNIA

APARE SUB ÎNDRUMAREA CONSILIULUI ŞTIINŢIFIC AL INSTITUTULUI CENTRAL DE CERCETĂRI ENERGETICE

Anul 37 Nr. 7 Iulie 1989

Centrale termoelectrice

Cîteva consideraţii asupra consumului de energie la transportul lichidelor prin conducte

Prof. dr. doc. TEODOR OROVEANU, ş. l. dr. ing. ing. ION SPULBER *

Descriptori: consumuri specifice de energie, transportul lichidelor, conducte

CZ: 66.012.3: 621.6.03

Se consideră problema consumului de energie la transportul prin conducte al lichidelor încălzite. Sînt stabilite condiţiile în care consumul de energie este apropiat de acela corespunzător transportului izotermic. Se găseşte şi expresia debitului masic ce poate fi transportat gravitaţional.

The energy consumption on heated liquid pipe transportation is considered. The conditions required for the transport energy consumption to be close to the isothermal one are established. The relation for the mass flow enabling a gravitational transport is determined as well.

Introducere

În general, atunci cînd se proiectează o conductă pentru transportul unui lichid, se încearcă să se optimizeze valorile unor parametri constructivi şi funcţionali ai acesteia, în vederea asigurării unei eficienţe maxime, respectiv a unui cost cît mai redus al transportului.

În cele ce urmează, ne propunem să studiem o altă problemă, referitoare la o conductă existentă, prin care se transportă un lichid cu caracteristici cunoscute. În aceste condiţii, încercăm să stabilim dacă există posibilitatea optimizării consumului de energie necesară pentru transport.

Pentru un element de lungime dx al unei conducte, transportul cu un debit Q necesită o cădere de presiune dp; prin urmare consumul de energie necesară pentru transport, raportată la unitatea de timp (puterea), este

$$dP = -Qdp - \rho Qc dT, \qquad (1)$$

dacă admitem că există şi o scădere dT a temperaturii. În formula precedentă, ρ reprezintă densitatea lichidului, iar c căldura specifică masică a acestuia.

Pe de altă parte, avem însă [1]:

$$dp = -\rho g(idx + dz), \qquad (2)$$

g fiind acceleraţia gravitaţională, i panta hidraulică a conductei şi dz diferenţa de nivel elementară. Relaţia (1) devine deci:

$$dP = \rho Qg(idx + dz(- \rho Qc dT \qquad (3)$$

şi după integrarea între secţiunea de intrare în conductă ($x = 0$) unde temperatura lichidului este T_1 şi secţiunea de ieşire ($x = l$) unde temperatura este T_2, rezultă:

$$P = \rho Qg\int_0^l idx + \rho Qg(z_2 - z_1) + \rho Q\int_{T_2}^{T_1} cdT, \qquad (4)$$

z_1 şi z_2 fiind respectiv cotele centrelor secţiunilor de intrare şi de ieşire din conductă. La integrare, am ţinut seama de faptul că debitul masic ρQ este constant, chiar dacă temperatura variază, în timp ce panta hidraulică este o funcţie de temperatură.

Expresia (4) a puterii necesare pentru transport intervine sub această formă completă în cazul de care ne vom ocupa în continuare şi anume cînd lichidul transportat este supus unei încălziri prealabile.

1. Cazul transportului la cald

Transportul prin conducte al lichidului după o încălzire prealabilă se practică în special pentru petrolul brut cu viscozitate mare sau congelabil şi pentru produse foarte vîscoase, în scopul evitării congelării sau al reducerii pierderilor de presiune în lungul conductei.

Dacă presupunem că lichidul ce urmează a fi transportat prin conductă are, înainte de încălzire, temperatura $T_0 < T_2$, expresia (4) a puterii se scrie:

$$P = \rho Qg\int_0^l idx + \rho Qg(z_2 - z_1) + \rho Q\int_{T_0}^{T_1} cdT. \qquad (5)$$

* Prof. dr. doc. Teodor Oroveanu — Institutul de Petrol şi Gaze Ploieşti, ş. l. dr. ing. Ion Spulber — Institutul Politehnic Bucureşti, Facultatea de Electrotehnică şi Energetică

Într-adevăr, este posibil ca, din considerente de ordin practic, temperatura lichidului la ieşirea din conductă, T_2, să fie superioară aceleia pe care a avut-o înainte de încălzire, notată cu T_0.

Transportul izotermic se efectuează la temperatura T_0 şi panta hidraulică are valoarea constantă i_0. Din relaţia (4) rezultă :

$$P_0 = \rho Q g i_0 l + \rho Q g (z_2 - z_1), \tag{6}$$

unde l este lungimea conductei. Prin urmare, pentru a se evita un consum suplimentar de energie în cazul transportului la cald trebuie îndeplinită condiţia $P \leqslant P_0$, care se mai scrie :

$$i_0 l - \int_0^l i\,dx \geqslant \frac{1}{g} \int_{T_0}^{T_1} c\,dT \tag{7}$$

sau, dacă admitem pentru căldura specifică masică o valoare medie constantă,

$$i_0 l - \int_0^l i\,dx \geqslant \frac{c}{g}(T_1 - T_0). \tag{8}$$

În cazul în care inegalitatea (7) sau (8) este respectată, eficienţa economică a transportului la cald este asigurată şi din acest punct de vedere.

Funcţia $i(x)$ fiind continuă pe intervalul $[0, l]$ există valoarea medie i_m şi inegalitatea (8) devine

$$i_0 - i_m \geqslant \frac{c}{gl}(T_1 - T_0). \tag{9}$$

Pentru a evita unele complicaţii de calcul, ne vom mărgini în continuare la situaţiile în care panta hidraulică are expresia [1]

$$i = \beta \frac{Q^{2-n} \nu^n}{D^{5-n}}, \tag{10}$$

în care ν este viscozitatea cinematică a lichidului, iar $\beta = 4{,}153$ şi $n = 1$ pentru regimul laminar, $\beta = 0{,}0246$ şi $n = 0{,}25$ pentru regimul turbulent în conducte hidraulic netede cu $\mathrm{Re} < 10^5$ (domeniul de valabilitate al formulei lui Blasius) şi $\beta = 0{,}0826\ \lambda$, respectiv $n = 0$, pentru regimul turbulent în conducte rugoase, D fiind diametrul interior al conductei. Cu Re s-a notat, ca de obicei, numărul lui Reynolds, iar λ este coeficientul de rezistenţă care, în cazul conductelor rugoase, depinde numai de rugozitatea relativă. Se observă că expresia (10) a pantei hidraulice cuprinde cîteva dintre cele mai semnificative situaţii realizabile în practica transportului prin conducte.

După utilizarea expresiei (10) găsim, în loc de (8),

$$l - \int_0^l \left(\frac{Q}{Q_0}\right)^{2-n} \left(\frac{\nu}{\nu_0}\right)^n dx \geqslant \frac{cD^{5-n}}{\beta g Q_0^{2-n} \nu_0^n}(T_1 - T_0) \tag{11}$$

debitul Q_0 şi viscozitatea cinematică ν_0 fiind acelea corespunzătoare temperaturii T_0. Deoarece Q şi ν sînt funcţii de temperatură, recurgem la relaţia [1]:

$$dx = -\frac{\rho Q c}{\pi k D} \frac{dT}{T - T_s}, \tag{12}$$

în care k este coeficientul global de transfer de căldură de la lichid la mediul în care se află conducta şi T_s temperatura mediului. După înlocuirea în (12), rezultă

$$l - \frac{\rho Q c}{\pi k D} \int_{T_2}^{T_1} \left(\frac{Q}{Q_0}\right)^{2-n} \left(\frac{\nu}{\nu_0}\right)^n \frac{dT}{T - T_s} \geqslant \geqslant \frac{cD^{5-n}}{\beta g Q_0^{2-n} \nu_0^n}(T_1 - T_0) \tag{13}$$

dacă acceptăm şi pentru k o valoare medie constantă, intervalul de temperaturi $[T_0, T_1]$ fiind, din motive de ordin practic, de cîteva zeci de grade.

Din (11) se observă imediat că, în cazul regimului turbulent în conducte rugoase ($n = 0$), această inegalitate nu poate fi respectată deoarece

$$\int_0^l \left(\frac{Q}{Q_0}\right)^2 dx > l, \tag{14}$$

lichidul dilatîndu-se la încălzire ($Q > Q_0$). Acest rezultat era de aşteptat deoarece în regim turbulent în conducte rugoase panta hidraulică este independentă de temperatură şi ca urmare încălzirea lichidului nu conduce la scăderea pierderii de presiune.

Pot fi deci luate în consideraţie numai cazurile în care $n > 0$. Pentru acestea, inegalitatea (13) este respectată dacă temperatura de încălzire satisface, la rîndul ei, inegalitatea

$$T_1 \leqslant T_0 + \frac{\beta g}{D^{5-n}} \left(\frac{Q_0^{2-n} \nu_0^n}{c} l - \frac{\rho Q}{\pi k D} \int_{T_2}^{T_1} Q^{2-n} \nu^n \frac{dT}{T - T_s} \right), \tag{15}$$

care se rezolvă prin încercări. Se observă că $T_1 > T_0$ numai dacă este satisfăcută şi inegalitatea

$$l > \frac{\rho Q c}{\pi k D} \int_{T_2}^{T_1} \left(\frac{Q}{Q_0}\right)^{2-n} \left(\frac{\nu}{\nu_0}\right)^n \frac{dT}{T - T_s}, \tag{16}$$

care se realizează.

Mai observăm că rezultatele precedente sînt valabile numai dacă prin încălzire nu se schimbă regimul de curgere. Astfel, dacă notăm cu n_1 şi n_2 valorile exponentului n corespunzătoare celor două regimuri ($n_1 > n_2$) din (7) rezultă, după calcule similare cu cele precedente, inegalitatea :

$$l - \frac{\beta_2}{\beta_1} \left(\frac{Q_0}{D \nu_0}\right)^{n_1 - n_2} \frac{\rho Q c}{\pi k D} \int_{T_2}^{T_1} \left(\frac{Q}{Q_0}\right)^{2-n_2} \left(\frac{\nu}{\nu_0}\right)^{n_2} \times \times \frac{dT}{T - T_s} \geqslant \frac{cD^{5-n_1}}{\beta_1 Q_0^{2-n_1} \nu_0^{n_1}}(T_1 - T_0), \tag{17}$$

β_1 și β_2 corespunzînd la n_1 și respectiv n_2, iar Q_0 și ν_0 avînd aceeași semnificație ca mai înainte; pentru $n_1 = n_2 = n$ și $\beta_1 = \beta_2 = \beta$ această inegalitate se reduce la (13).

Revenind la relația (5) în care se introduce pentru panta hidraulică expresia (10) și făcînd schimbarea de variabilă (12), se obține:

$$P = \frac{\beta g c (\rho Q)^{4-n}}{\pi k D^{6-n}} \int_{T_2}^{T_1} \frac{\nu^n}{\rho^{2-n}} \frac{dT}{T - T_s} + \tag{18}$$

$$+ \rho Q g (z_2 - z_1) + \rho Q c (T_1 - T_0)$$

cu aceeași ipoteză referitoare la c și k.

Ne putem pune întrebarea dacă există o valoare a debitului masic ρQ care face minimă puterea necesară pentru transport. Din (18), avem

$$\frac{dP}{d(\rho Q)} = (4 - n) \frac{\beta g c (\rho Q)^{3-n}}{\pi k D^{6-n}} \int_{T_2}^{T_1} \frac{\nu^n}{\rho^{2-n}} \times \tag{19}$$

$$\times \frac{dT}{T - T_s} + g(z_2 - z_1) + c(T_1 - T_0)$$

și dacă

$$z_1 - z_2 > \frac{c}{g} (T_1 - T_0) \tag{20}$$

egalarea cu zero a derivatei (19) dă

$$\rho Q = \left[\frac{g(z_1 - z_2) - c(T_1 - T_0)}{(4 - n) \dfrac{\beta g c}{\pi k D^{6-n}} \displaystyle\int_{T_2}^{T_1} \frac{\nu^n}{\rho^{2-n}} \frac{dT}{T - T_s}} \right]^{\frac{1}{3-n}}. \tag{21}$$

Deoarece:

$$\frac{d^2 P}{d(\rho Q)^2} = (4 - n)(3 - n) \times$$

$$\times \frac{\beta g c (\rho Q)^{2-n}}{\pi k D^{6-n}} \int_{T_2}^{T_1} \frac{\nu^n}{\rho^{2-n}} \frac{dT}{T - T_s} > 0, \tag{22}$$

valoarea (21) a debitului masic realizează un minim al funcției $P(\rho Q)$.

Din (18) rezultă, însă, după unele calcule, că valoarea minimă a acestei funcții este:

$$P_{min} = \left[\frac{1}{(4 - n)^{4-n}} - 1 \right] \times$$

$$\times \left[\frac{[g(z_1 - z_2) - c(T_1 - T_0)]^{4-n}}{(4 - n) \dfrac{\beta g c}{\pi k D^{6-n}} \displaystyle\int_{T_2}^{T_1} \frac{\nu^n}{\rho^{2-n}} \frac{dT}{T - T_s}} \right]^{\frac{1}{3-n}} < 0. \tag{23}$$

Prin urmare, problema astfel pusă nu admite o soluție posibilă din punct de vedere fizic. Se observă însă că, în cazul în care transportul se efectuează gravitațional ($p_1 = p_2 = p_a$) rezultă [1]:

$$z_1 - z_2 = \frac{\beta c (\rho Q)^{3-n}}{\pi k D^{6-n}} \int_{T_2}^{T_1} \frac{\nu^n}{\rho^{2-n}} \frac{dT}{T - T_s} \tag{24}$$

și puterea necesară pentru transport are expresia

$$P = \rho Q c (T_1 - T_0) \tag{25}$$

fiind deci necesară numai pentru încălzirea lichidului. Debitul masic, transportabil în aceste condiții, are expresia:

$$\rho Q = \left[\frac{z_1 - z_2}{\dfrac{\beta c}{\pi k D^{6-n}} \displaystyle\int_{T_2}^{T_1} \frac{\nu^n}{\rho^{2-n}} \frac{dT}{T - T_s}} \right]^{\frac{1}{3-n}} \tag{26}$$

dedusă din (24).

Concluzii

Din considerațiile precedente asupra transportului la cald al lichidelor prin conducte, rezultă că un consum suplimentar de energie față de transportul izotermic se poate evita numai dacă este satisfăcută relația (8), respectiv (13) în cazurile studiate mai înainte. În general, este dificil, și în anumite situații chiar imposibil, ca această relație să fie satisfăcută, dar studiul întreprins permite să se stabilească în ce condiții transportul la cald nu conduce la un consum suplimentar de energie exagerat.

De asemenea, problema unei puteri minime necesare pentru transport, respectiv a determinării debitului masic corespunzător nu are o soluție posibilă din punct de vedere fizic. În schimb, dacă transportul se efectuează gravitațional, situație destul de rară, consumul de energie este evident minim, fiind necesară doar încălzirea lichidului. Debitul transportabil în aceste condiții are expresia dată mai înainte.

Bibliografie

[1] Oroveanu, T., Stan, Al., Talle, V. *Transportul petrolului*. Editura Tehnică, București, 1985, p. 51, 107, 120, 122.

(Primit la 3 martie 1988, acceptat la 26 ianuarie 1989)

Aducțiuni sub presiune din beton armat turnat la fața locului în cadrul amenajărilor hidroenergetice de putere mică

Ing. IOAN GHIUȚĂ, ing. ROMULUS SFICHI *

Descriptori: amenajări hidroenergetice, aducțiuni sub presiune, construcții de beton armat

CZ: 621.311.21:666:982

Lucrarea prezintă o soluție de aducțiune sub presiune pentru centrale hidroelectrice de mică putere (CHEMP) ce constă dintr-o conductă de beton armat turnat la fața locului și care dispune de multiple avantaje tehnico-economice în raport cu alte soluții de utilizare curentă. Soluția descrisă tehnologic și ca modalitate de calcul, se pretează la utilizarea în aducțiuni de CHEMP cu debite mai mari de 7 m³/s și presiuni de pînă la 2 at.

Toate considerațiile făcute se bazează pe un exemplu concret de proiectare ce se referă la CHEMP Straja 1, jud. Bacău, și care poate fi generalizat în amenajările hidroenergetice de putere mică ce comportă aducțiuni sub presiune în conducte cu diametre interioare de 2 000—2 700 mm.

This report introduces a solution for a pressure culvert for small hydropower plants consisting of an in situ cast reinforced concrete duct offering several technical and economic advantages as compared to other current utilisation solutions. The solution described has been proven to be best from the technological as well as computational point of view, for use in small hydropower plants with flows larger than 7 m³/s and pressures up to 2 at.

All these considerations are based on an actual design example which can be generalized for small hydropower plants with pressure culverts in ducts of diameters between 2000 and 2700 mm.

Considerații generale

Unul din obiectele componente cu ponderea valorică cea mai mare din alcătuirea unei microhidrocentrale (MHC) sau centrale hidroelectrice de mică putere (CHEMP) îl constituie, de regulă, aducțiunea, care din punct de vedere funcțional poate fi cu nivel liber sau sub presiune.

Alegerea soluției „cu nivel liber" sau „sub presiune" la proiectarea acestor obiective, se face în funcție de posibilitățile de înscriere în teren a canalelor de coastă, a bazinelor compensatoare, a căilor de acces în lungul uvrajului la faza de execuție a acestuia și ulterior, a supravegherii în exploatare, precum și în funcție de natura terenurilor și mărimile suprafețelor necesar a fi afectate.

Aducțiunile sub presiune (conductele forțate) se execută [1] din tuburi precomprimate din beton armat, conducte metalice (la presiuni mari și cu justificare tehnico-economică) sau se adoptă alte soluții constructive funcție de specificul și caracteristicile hidraulice și hidroenergetice ale amenajării.

Tuburile din beton precomprimat [2] sînt de tip PREMO, IPREROM și SENTAB, cu diametre interioare de pînă la 2000 mm inclusiv și pînă la clasa de fabricație 16 (excepțional 19). Pentru diametre interioare mai mari de 2000 mm s-au folosit la realizarea aducțiunilor de CHEMP conducte confecționate din virolă metalică înglobată în beton armat.

1. Aducțiuni sub presiune din beton armat turnat la fața locului

Pentru aducțiuni cu diametrul interior mai mare de 2000 mm, soluția aplicată curent în realizarea CHEMP constă în utilizarea conductelor confecționate din virolă metalică înglobată în beton armat.

În scopul reducerii consumului de metal și micșorării costurilor de investiții ale CHEMP soluțiile privind realizarea aducțiunilor pot fi îmbunătățite față de situația curentă. Astfel, în cazul unor presiuni de regim mai mici de 2 at și al unor debite tranzitate mai mari de 7 m³/s, în condițiuni geomorfologice de înscriere favorabilă, apare necesară analiza comparativă a oportunității realizării aducțiunilor de beton armat turnat la fața locului, în condiții de productivitate ridicată cu utilizarea de cofraje glisante [1].

În mod concret o astfel de soluție a fost promovată de IRE Suceava, la proiectarea CHEMP Straja 1, jud. Bacău, la propunerea IGSIC București (prof. dr. ing. Alexandru Diacon), prin soluțiile constructive avizate. Aducțiunea acestei CHEMP implică un diametru economic al conductei de 2700 mm la un debit instalat de 11,4 m³/s. Conducta are lungimea de peste 1 km și prezintă în plan 8 schimbări de direcție cu $\alpha \in [5°, 15°]$.

* Ing. Ioan Ghiuță, ing. Romulus Sfichi — Întreprinderea de Rețele Electrice Suceava,.

Conturul exterior al conductei proiectate, în vederea execuţiei loco şantier, este poligonal, iar cel interior — circular, grosimea minimă a peretelui fiind de 25 cm (fig. 1). Forma poligonală exterioară a conductei proiectate permite o cofrare uşoară şi o conlucrare pat-conductă avantajoasă [3]. Cofrajele prevăzute a fi folosite pentru turnarea conductei sînt metalice (fig. 2). Cofrajul interior demon-

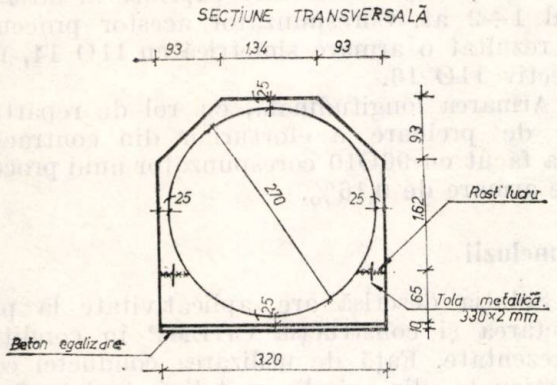


Fig. 1

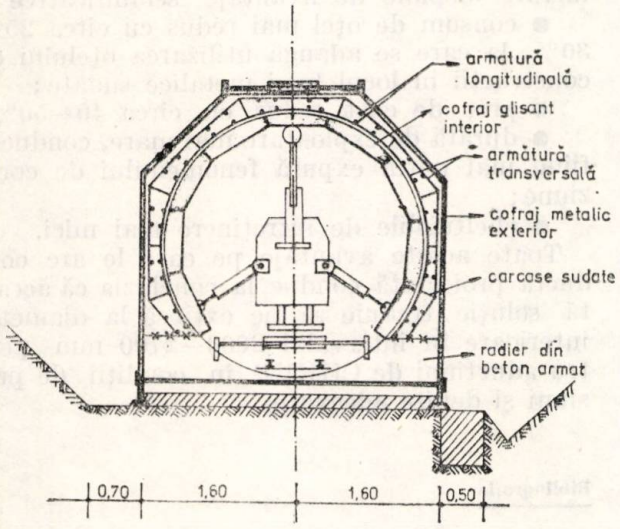


Fig. 2

tabil este prevăzut a fi alcătuit din elemente de arc articulate. Deplasarea longitudinală a acestui cofraj se realizează pe cadre mobile. În acest context turnarea conductei se va face în două etape: se toarnă mai întîi radierul pe care se montează şinele de rulare, după care se toarnă bolta. Etanşarea rosturilor dintre radier şi boltă se realizează cu tolă metalică.

Din motive tehnologice şi de execuţie (contracţia şi dilatarea betonului), precum şi ca urmare a traseului conductei, aceasta se va turna în tronsoane cu lungimi cuprinse între 19 m şi 25,5 m. Etanşarea rosturilor permanente dintre tronsoane se va asigura cu bandă PVC — 035. Este de reţinut că betonul prevăzut a fi pus în operă este de clasa Bc H 20, gradul de permeabilitate fiind P8, iar tasarea t 9 [4, 5]. Cimentul folosit este Pc.35, agregatele fiind incluse în curba de granulometrie $0 \div 16$ mm.

2. Dimensionarea conductei

2.1. Ipoteze de calcul

Soluţia descrisă şi adoptată pentru aducţiunea CHEMP în cauză a fost dimensionată pe baza următoarelor ipoteze de calcul:

- ipoteza de exploatare (greutatea proprie, greutatea apei din interiorul conductei, presiunea hidrostatică a apei din interior, greutatea şi împingerea pămîntului);
- ipoteza de reparaţii (greutatea proprie, greutatea şi împingerea pămîntului);
- ipoteza de verificare a conductei la plutire.

2.2. Determinarea eforturilor secţionale

Secţiunea transversală a conductei a fost divizată în 16 bolţari. Schema statică este un cadru închis cu 16 noduri şi 16 bare (fig. 3).

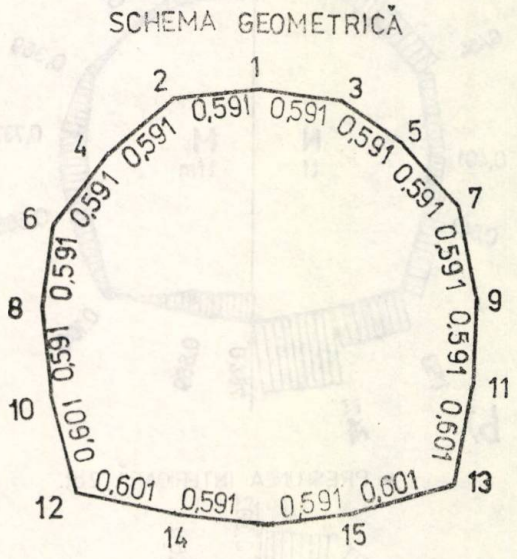


Fig. 3

Calculul eforturilor secţionale (momente încovoietoare, forţe axiale, forţe tăietoare) s-a făcut automat, utilizînd programul de calcul SECON — 2*. Diagramele în cîteva ipoteze de încărcare sînt arătate în figura 4.

2.3. Dimensionarea armăturii

Conducta este solicitată la întindere excentrică cu excentricitate mare [6]. Dimensio-

* Căpăţînă, D. şi Cocora, D. SECON-2 — 1975. Program pentru determinarea stării de eforturi şi deplasări în structuri plane din bare drepte sub acţiunea unor încărcări statice şi dinamice din planul structurii.

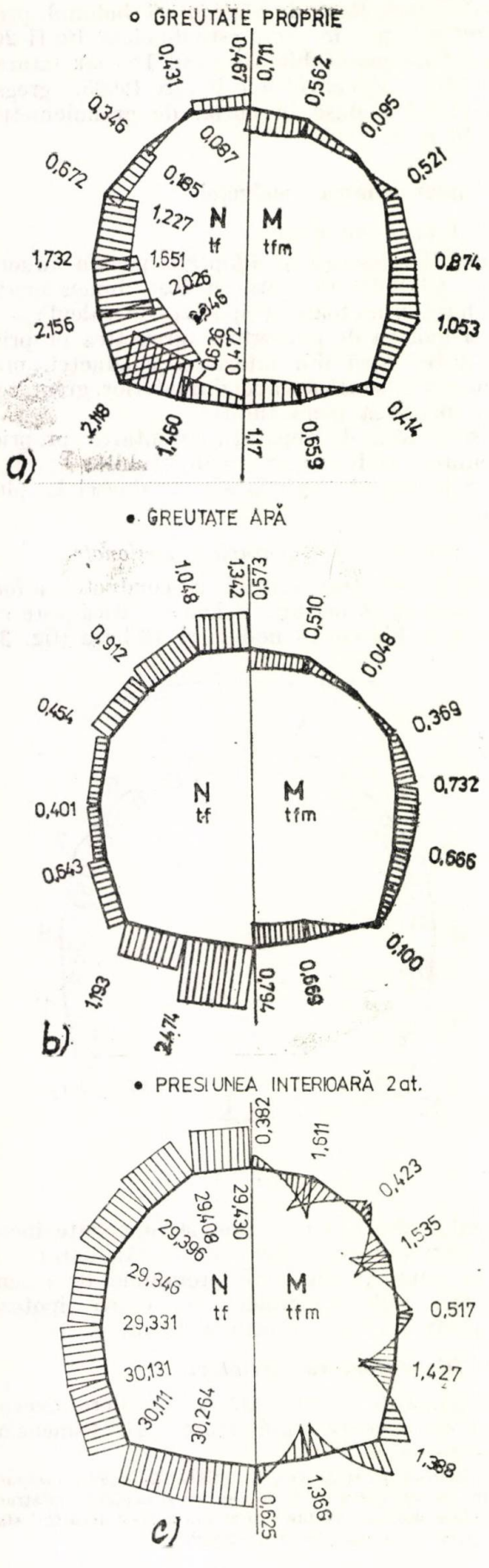


Fig. 4

narea armăturii s-a făcut la starea limită de deschidere a fisurilor, impunîndu-se deschiderea maximă a acestora $\alpha \leqslant 0{,}1$ mm. Au rezultat procente de armare de $0{,}76\% \div 1{,}05\%$ pentru presiuni interioare cuprinse în intervalul $1 \div 2$ at. Corespunzător acestor procente, a rezultat o armare simetrică cu 11Ø 14, respectiv 11Ø 16.

Armarea longitudinală, cu rol de repartiție și de preluare a eforturilor din contracție, s-a făcut cu 96Ø10 corespunzător unui procent de armare de 0,16%.

Concluzii

Soluția descrisă are aplicativitate la proiectarea și construcția CHEMP în condițiile prezentate. Față de utilizarea conductei confecționate din virolă metalică înglobată în beton armat, soluția prezentată în această lucrare dispune de avantaje semnificative:

- consum de oțel mai redus cu circa 25—30%, la care se adaugă utilizarea oțelului de construcții în locul tolei metalice sudate;
- preț de cost redus cu circa 40—50%;
- durată de exploatare mai mare, conducta fiind mai puțin expusă fenomenului de coroziune;
- cheltuielile de întreținere mai mici.

Toate aceste avantaje pe care le are conducta proiectată conduc la concluzia că această soluție trebuie să fie extinsă la diametre interioare în intervalul 2000—2700 mm pentru aducțiuni de CHEMP în condiții de presiuni și debite adecvate.

Bibliografie

[1] * * * PE 306/1986. *Normativ cadru pentru proiectarea microhidrocentralelor MHC și a centralelor hidroelectrice de mică putere CHEMP.* Ministerul Energiei Electrice, ICEMENERG, 1986.

[2] * * * I 22/1984 — *Normativ privind proiectarea și executarea conductelor de apă și canalizare din tuburi de beton precomprimat, beton armat, beton simplu și gresie ceramică.* ICCPDC, Buletinul construcțiilor, vol. 9/1984.

[3] Prișcu, R. *Construcții hidrotehnice*, vol. II. Editura Didactică și Pedagogică, București, 1974.

[4] * * * PE — 713/1983. *Modificări la instrucțiunile tehnice departamentale, pentru execuția și controlul betoanelor construcțiilor hidroenergetice.* Buletinul construcțiilor vol. 11/1987.

[5] * * * C. 140—86. *Normativ pentru executarea lucrărilor din beton și beton armat*, ICCPDC — 1987.

[6] Dumitrescu, D și col. *Proiectarea și calculul construcțiilor din beton, beton armat și beton precomprimat.* Editura tehnică, București, 1978.

(Primit la 9 martie 1989, acceptat la 10 mai 1989)

Un punct de vedere privind calitatea apei de răcire la centralele nuclearoelectrice de tip CANDU

Ing RODRIG LUCREȚEANU, ing. TRAIAN MAUNA*

Descriptori : centrale nuclearoelectrice, apă de răcire

CZ : 621.311.25 :621.039

În lucrare se prezintă influența extinderii cerințelor de calitate a apei de răcire de la centralele pe combustibili clasici asupra funcționării centralelor nuclearoelectrice (CNE) de tip CANDU, echipate cu turbine în condensație, de 700 MWe. Problema consecințelor este comentată pentru CNE cu răcire în circuit închis, cu exemplificări privitor la principalii parametri de calitate ai sursei pentru apa de adaos.

The paper deals with the impacts of cooling water quality requirements extension from conventional power plants to CANDU nuclear power plants equipped with 700 MWe condensation turbines. The consequences for closed cooling circuit nuclear power plants with examples regarding main quality parameters of the supply water are discussed.

1. Cerințe pentru apa de răcire

Pentru apa de răcire la răcirea în circuit deschis normele ISCIR C 35—83 și M.E.E. PE — 218/1982 nu impun restricții deosebite asupra calității apei.

Restricții se impun pentru circuitele de răcire definite ca „mixte" de cele două normative, cum este circuitul de răcire cu turnuri de răcire, la care o anumită cantitate de apă se află permanent în circulație, iar pierderile și purja sînt compensate prin apa de adaos. În limbajul curent al energeticienilor și hidrotehnicienilor pentru asemenea soluție de răcire este folosită denumirea de sistem de răcire în circuit închis, cu turnuri de răcire.

În cadrul prezentului articol s-a folosit noțiunea de „mixt" care reprezintă referirea la cele două normative. Bineînțeles că parametrii calitativi ai apei de adaos trebuie să fie determinați astfel ca parametrii care se stabilizează în circuitul apei de răcire în echilibru chimic să se încadreze în prevederile normativelor menționate, din care pentru cazul țevilor din oțel citățm :

— duritate temporară — maximum 1 mval/dm³ ;

— duritate permanentă — maximum 10 mval/dm³ ;

— cloruri — maximum 500 mg/dm³ ;

— pH — minimum 6,5.

Aceste normative au fost întocmite ținînd seama de experiența acumulată la centralele termice pe combustibili convenționali și nu fac mențiuni privind parametrii termohidraulici.

În cazul CNE, apa de răcire este folosită pentru răcirea condensatorului și pentru răcirea sistemelor auxiliare nucleare (apa tehnică). Apa de răcire circulă prin condensatorul turbinei cu viteze de pînă la 2,4 m/s. Condensatoarele și schimbătoarele de căldură pentru circuitele tehnice nucleare sînt cu țevi din oțel inox.

În circuit deschis, prin condensatorul turbinei de tip cu un singur drum se vehiculează circa 46 m³/s apă de răcire, care la o temperatură de intrare de 15°C și $\Delta t = 7°C$, asigură condiții pentru funcționarea turboagregatului la putere maximă.

La CNE cu răcire în circuit „mixt", cu turnuri de răcire prin condensatorul cu două drumuri, se vehiculează circa 27 m³/s apă de răcire, care la o temperatură de intrare de 19,5°C și un $\Delta t = 11,7°C$ asigură condiții pentru a se furniza putere maximă la bornele generatorului. Condensatorul este construit din aceleași materiale ca și în cazul răcirii în circuit deschis.

Apa tehnică vehiculată prin schimbătoarele intermediare, cu un debit total la funcționare normală de circa 8 m³/s și de circa 2,5 m³/s în situație de avarie nu trebuie să depășească la intrare temperatura de 28°C.

Depășirea acestei temperaturi poate apărea pe durate scurte, de exemplu în cazul zilelor deosebit de călduroase, cu inversiune termică. În general temperaturile de intrare peste 30°C ale apei de răcire trebuie evitate întrucît au influențe semnificative asupra funcționării sistemelor nucleare.

2. Caracteristicile surselor de apă pentru CNE cu circuit de răcire „mixt"

Principalele rîuri din țara noastră pot constitui surse de apă de răcire, cu asigurarea de

* Ing. Rodrig Lucrețeanu, ing. Traian Mauna — Institutul de Studii și Proiectări Energetice, București.

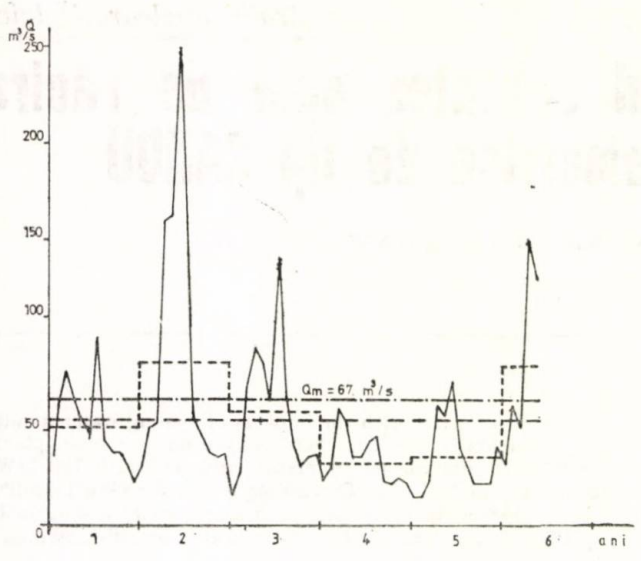


Fig. 1. Debitele rîului în secţiunea de captare : ——— valori momentane ; ——— medie anuală ; — — medie multianuală ; —·— debit modul.

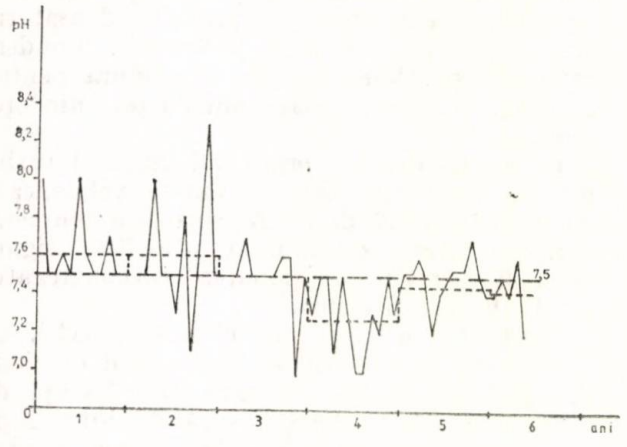


Fig. 2. Variaţia valorilor pH : ——— valori momentane ; ——— medii anuale ; — —medie multianuală.

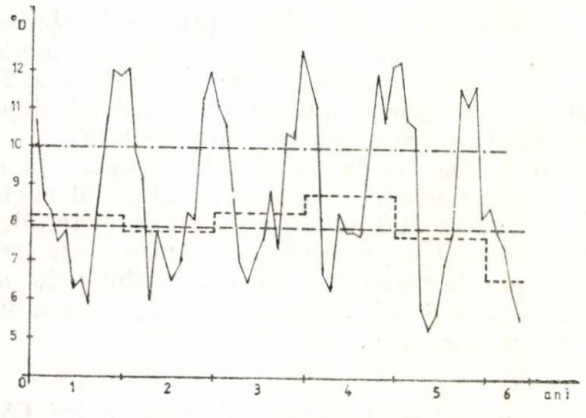


Fig. 3. Variaţia valorilor durităţii temporare : ——valori momentane lunare ; ·····valori medii anuale ; —— valoare medie multianuală ; —·— valoare medie multianuală a durităţii totale.

97%, pentru o CNE echipată cu două sau mai multe unităţi şi numai cu circuit „mixt" de răcire. Debitul modul al rîurilor respective în secţiunile ce prezintă interes din punctul de vedere al sistemului energetic naţional, este cuprins între 30 m^3/s şi 90 m^3/s, deci nu se poate asigura o răcire în circuit deschis decît cel mult pentru o unitate, însă cu lucrări de regularizare multianuală a debitelor. Din studiile făcute asupra calităţii apelor rezultă că unele rîuri au un conţinut relativ ridicat de substanţe organice, de ioni de amoniu etc., cu valori ce depăşesc limitele stabilite pentru categoria a III-a de calitate conform STAS 4706—88. Duritatea temporară are variaţii mari, între 5°D şi 13°D. Pentru exemplificare, în figura 1 se prezintă pe o perioadă de 6 ani variaţia debitelor unui rîu, cu valori momentane lunare şi cu valori ale debitelor medii anuale stabilite pe baza valorilor momentane, determinate conform metodologiilor specifice [2]. Valoarea medie multianuală pe perioada considerată este de aproximativ 56 m^3/s, cu circa 20% sub debitul modul al rîului în secţiunea respectivă.

În figura 2 este prezentată variaţia valorilor pH, cu valorile momentane corespunzînd valorilor momentane ale debitelor din figura 1.

În figura 3 este prezentată variaţia valorilor durităţii temporare a rîului în secţiunea considerată, corelat cu debitele din figura 1. În figurile 2 şi 3 au fost determinate valorile medii anuale, ca medie ponderată ţinînd seama de debit, iar valoarea medie multianuală a fost determinată în acelaşi mod. În figura 3, pe acelaşi grafic a fost trasată şi linia durităţii totale multianuale, rezultînd că valoarea durităţii permanente multianuale este de circa 2,1°D.

Valorile medii ponderate anuale şi multianuale pot oferi o imagine mai apropiată de realitate, pentru situaţii în care s-ar realiza o acumulare al cărui volum face o regularizare anuală sau multianuală a debitelor. Este cunoscut faptul că în cazul marilor acumulări apar fenomene biochimice şi fizice deosebit de complexe, care pot duce la alte valori ale indicilor de calitate, dar într-o primă aproximaţie judecăţile pe valori mediate anual sau multianual oferă o dimensiune a problemei. Din acest motiv, pentru scopul pe care ni l-am propus nu am mai considerat util să facem o prelucrare statistică a datelor colectate sau o modelare matematică a fenomenelor care pot apărea în regim natural de curgere a rîului. Admitem că pentru exemplul considerat, conţinutul de clor variază între 50 şi 150 mg/l, valori situate mult sub prevederile menţionate la pct. 1, astfel că nu este necesară prelucrarea acestor date.

3. Tratarea apei de adaos în circuitele de răcire ale CNE

Dacă am extinde cerinţele menţionate în normele ISCIR-C 35—83 şi M.E.E.-PE 218—82 la CNE de tip CANDU cu răcire în circuit „mixt", cu turnuri de răcire, constatăm că sursele de apă satisfac cerinţele respective în privinţa durităţii permanente, valorii pH şi conţinutului de clor.

Cerinţa privind duritatea temporară nu este satisfăcută. Pentru corectarea acestui parametru al apei de răcire rezultă necesitatea tratării apei, pentru a se ajunge la circa 1 mval/dm³ (2,8°D).

Pentru o CNE de tip CANDU cu circuit „mixt" de răcire rezultă un debit de apă de adaos de 2,25 m³/unitate din care circa 1,5 m³/s se restituie în emisar prin purje.

Deci, pentru o centrală cu două unităţi ar rezulta necesitatea tratării în medie a unui debit de circa 4,5 m³/s apă de adaos în circuitul de răcire. Să presupunem că am realiza tratarea apei după soluţiile devenite clasice, pe scheme tradiţionale de tratare pe baza experienţei din ţara noastră la centralele termice pe combustibili convenţionali, cu reactivi şi alte materiale de filtrare produse pe plan intern în mod curent. În această situaţie consumurile medii de reactivi pentru tratare sînt:

— var hidratat: 200 g/m³;
— clorură ferică: 45 g/m³;
— acid clorhidric: 15 g/m³.

Tratarea a 4,5 m³/s duce la un consum de reactivi anual de:

— var hidratat — 28 000 t/an;
— clorură ferică — 6 400 t/an;
— acid clorhidric — 2 100 t/an,

ceea ce înseamnă circa 70 vagoane pe săptămînă. Pentru trei unităţi s-ar ajunge la o medie de peste 100 vagoane de reactivi săptămînal.

Cantităţile mari de reactivi ar impune identificarea surselor de materie primă şi construirea de noi capacităţi de producţie. De asemenea, ar trebui asigurate căi de transport, depozite, sisteme de manipulări etc. De pe urma tratării ar rezulta circa 1×10^6 m³/an de nămol concentrat, care ar trebui transportat şi depozitat.

În cazul utilizării unor asemenea procedee rezultă instalaţii de tratare gigantice, iar asupra funcţionării acestora la parametrii preconizaţi specialiştii în domeniu au îndreptăţite rezerve.

4. Cîteva comentarii şi un punct de vedere

După cum a rezultat, extrapolarea prevederilor de la instalaţiile clasice, prin care se vehiculează debite semnificativ mai mici, la CNE duce la soluţii care nu pot fi acceptate decît în situaţie extremă. De remarcat faptul că duritatea temporară, care poate produce încrustări pe pereţii ţevilor schimbătoarelor de căldură, înrăutăţind funcţionarea acestora, nu este corelată în normele menţionate cu temperatura de funcţionare. Calcularea factorului de saturare (Langelier) şi a factorului de stabilitate (Ryznar) dă rezultate contradictorii. O trecere în revistă a experienţei din ţară la centralele pe combustibili clasici cu funcţionare în circuit „mixt", a experienţei pe plan mondial la centrale pe combustibili clasici şi CNE nu aduce clarificări, parametrii apei de răcire la diversele centrale termice variind între limite destul de largi. Pe de altă parte, orice staţie de tratare aduce o sumedenie de probleme de exploatare, printre care un mare aport de clor în apele reziduale, ducînd la poluarea apei rîului.

Renunţarea la tratarea apei de adaos ar duce, ţinînd seama de datele tehnice expuse mai sus, la un factor de concentrare de circa 1,35 în apa recirculată prin condensator, ceea ce înseamnă că pornind de la o duritate temporară medie multianuală de circa 7,9°D se ajunge în circuitul de răcire la circa 10,5°D. Creşterea debitului apei de adaos pentru fiecare unitate la 7 m³/s, conduce la un factor de concentrare în sistemul de răcire de 1,1, respectiv la o duritate medie de 8,7°D.

Din analiza valorilor momentane din figura 3 corelat cu valorile momentane ale debitelor rîului rezultă că duritatea temporară creşte mult în perioada de iarnă, cînd debitele sînt mai reduse, şi scade în perioada caldă, cînd debitele rîului sînt mai mari, însă valorile medii corespunzătoare perioadei calde rămîn în jurul valorii de 7°D, ceea ce nu reprezintă o reducere semnificativă în raport cu media multianuală.

Faţă de cele expuse, rezultă că apelarea la metodele tradiţionale şi extinderea prescripţiilor existente nu reprezintă o soluţie la acelaşi nivel de tehnicitate cu cel al CNE. Pe plan mondial se utilizează substanţe cu proprietăţi de inhibare a fenomenului de depunere, dispersanţi şi bioacizi care au efecte poluante mai reduse, nu conduc la dificultăţi în exploatare şi simplifică schema de apă de adaos. De remarcat că atît normele ISCIR, cît şi cele ale M.E.E. prevăd limite maxime pentru duritatea temporară a apei din circuit, similară celei pentru apa de adaos în circuitul apă-abur, fără o corelare cu temperatura de funcţionare a sistemului.

Prin urmare la circuitul de răcire al CNE ar trebui adoptate limite mai largi ale durităţii temporare, corelat cu relaţia de incrustrare funcţie de temperatură, în paralel cu înlocuirea soluţiilor tradiţionale de pretratare cu soluţii moderne. Să nu uităm că discutăm despre soluţii tehnice care ar trebui să devină funcţio-

nale spre sfîrşitul acestui secol (sau mileniu) şi că apelarea la tehnologii vechi care să fie folosite în anul 2020 apare anacronică în comparaţie cu tehnica de vîrf la care face apel realizarea şi funcţionarea oricărei CNE.

O soluţie demnă de avut în vedere pentru unele situaţii particulare este valorificarea în cît mai mare măsură a debitelor pîraelor cu duritate mică (de circa 4°—5°D), din zona CNE chiar pentru perioade limitate din an, cînd debitele respective permit.

Specialiştilor din ţara noastră le revine deci sarcina de a aborda în viitorul imediat studierea unor soluţii moderne pentru corectarea parametrilor chimici ai apei de răcire astfel încît să asigure o exploatare facilă a sistemelor CNE în condiţiile unor randamente maxime. În aceste studii trebuie să fie implicaţi şi energeticieni cu experienţă şi specialişti în exploatarea instalaţiilor de răcire.

Considerăm că problematica are aspecte interdisciplinare care impune corelarea planurilor de cercetare ale M.E.E. cu cele ale MIChP, MICM şi CN APE. Aplicarea soluţiei preconizate s-ar putea face pe staţie pilot, care să deservească prima unitate a CNE.

Pe baza rezultatelor obţinute în exploatare, corelat cu experienţa de la alte CNE din străinătate care au circuit cu turnuri de răcire, printr-o comparaţie tehnico-economică, se va putea stabiliza o soluţie tehnologică modernă de tratare a apei, care să satisfacă şi exigenţele impuse de protecţia mediului.

Bibliografie

[1] Dănilă, N. *Centrale nuclearoelectrice.* Bucureşti, Editura Academiei RSR, 1973.

[2] Negulescu, M., Antoniu, R., Rusu, G., Cuşa, E. *Protecţia calităţii apelor.* E.T. Buc., 1982

[3] ISCIR — C 35 — 85 *Prescripţii tehnice privind indicii de calitate ai apei folosite la răcirea schimbătoarelor de căldură din instalaţiile industriale*

[4] M.E.E. PE 218/1982. *Regulamentul de exploatare tehnică privind regimul chimic al apei şi aburului din centralele electrice.*

[5] Schröder, K. *Centrale termoelectrice de mare putere,* Vol II şi III Editura Tehnică, Bucureşti, 1971

[6] * * * IAEA — Safety Series No 50 — SG — S9 Site survey for nuclear power plants

[7] Logan, L., Graham, V., Unny, T.E. *Probability and stochastic modelling of water quality parameters in the Thames river.* În: Canadian Journal of Civil Engineering, vol. 15, No. 3, June, 1988.

[8] Mihoc, Gh., Micu, N. *Teoria probabilităţilor şi statistică matematică.* EDP, Bucureşti, 1980

(Primit la 7 martie 1989, acceptat la 20 aprilie 1989)

Din energetica mondială

NOUTĂŢI

CONSUMURILE SPECIFICE DE ENERGIE ELECTRICĂ ÎN R.F.G. PENTRU DIVERSE RAMURI ALE INDUSTRIEI

Începînd cu anul 1950 în R.F.G. se observă o scădere continuă a consumurilor specifice de materiale combustibile şi totodată o creştere neîntreruptă a consumurilor specifice de energie electrică pe unitatea brutto de producţie globală, deşi pentru unele ramuri ale industriei are loc şi o tendinţă contrară.

O imagine de sinteză se poate obţine studiind tabelul 1. Astfel, pentru industria minieră datele din tabel se explică prin scăderea constantă a extracţiei, simultan cu electrificarea crescîndă a acestei ramuri, iar pentru metalurgie — prin introducerea pe scară largă a cuptoarelor electrice de topire a oţelului; pentru metalurgia neferoasă explicaţia constă în creşterea sensibilă a producţiei de aluminiu, mare consumatoare de energie. Din contra, în industria chimică s-a observat o rată de creştere permanentă a valorii producţiei globale, concomitent cu rate de creştere mult mai mici a consumurilor de energie electrică.

Ramuri industriale	Valoarea producţiei globale (brutto) [mil. DM]			Consum de energie electrică [G Wh*]			Consumul specific de energie electrică [Wh/DM]**		
	1960	1970	1986	1960	1970	1986	1960	1970	1986
Industria minieră	22640	19940	11680	11761	13396	14536	519	672	1236
Extracţia de minereuri neferoase	7240	11930	12090	3720	6469	6285	514	542	520
Metalurgia feroasă	10820	15410	12750	10247	17693	18119	947	1148	1421
Metalurgia neferoasă	1870	3210	6880	754	7983	17603	403	2487	2849
Industria chimică	11010	29360	46590	20183	35023	42949	1833	1193	922
Construcţiile de maşini	32000	52650	59740	2195	4149	6288	68	79	105
Industria mijloacelor de transport rutiere	15880	37140	59410	2246	6035	10404	141	162	175
Industria electrotehnică	16750	37000	68290	2095	4039	6561	125	109	96
Industria bunurilor de larg consum	9240	15200	16570	1062	1890	2736	115	124	165
Industria de prelucrare a lemnului	7600	12290	11490	459	824	1312	60	67	114
Industria textilă	9860	13540	11890	2887	4256	4347	293	314	366
Total	144910	247670	317380	57609	101757	131140	397,6	411	413

* 16 Wh = 3,6 TJ; ** 1 Wh = 3,6 kJ.

(După: RJ, 22E, vol. general, nr. 8/1988, poz. 8J4)

Contribuții la creșterea siguranței în exploatarea comutatoarelor pentru reglajul în stare deconectată a tensiunii transformatoarelor cu puteri pînă la 1600 kVA

Ing. DOREL CERNOMAZU *

Descriptori : transformatoare de putere medie, comutatoare pentru reglajul tensiunii în gol, fiabilitate

CZ: 621.314.53: 621.3.019.3

Articolul prezintă succint problema creșterii fiabilității comutatoarelor pentru reglajul în stare deconectată a tensiunii unor transformatoare cu puteri pînă la 1 600 kVA.

Se constată că în multe cazuri avarierea bobinajelor transformatoarelor este provocată de cauze care implică comutatorul de priză.

Este semnalat pericolul pe care îl prezintă scăderea nivelului uleiului electroizolant din cuva transformatorului sub nivelul comutatorului de priză. În contextul arătat sînt analizate unele cazuri concrete de avariere a unor transformatoare și sînt prezentate soluții practice.

The paper briefly pinpoints the problem of the reliability increase of the step voltage commutators of transformers up to 1 600 kVA.

In most cases the transformer coils damage is due to causes connected to the tap switch.

The danger of the electroinsulating oil level decrease inside the transformer tank under the one of the tap switch is signalled. Thus, some cases of transformer failure are analysed and practical solutions are given.

Experiența de exploatare evidențiază faptul că în multe cazuri apar defecte ale comutatoarelor de prize.

Defectările comutatoarelor pentru reglajul în stare deconectată rezultă, în cele mai multe cazuri, ca urmare a contactelor imperfecte, a decălirii resoartelor contactelor ca urmare a supraîncălzirii acestora, a jocurilor existente în lanțul cinematic al comutatorului, cît și ca urmare a unor defecte ale izolației acestuia.

Investigațiile efectuate asupra unor transformatoare arată că eroarea de poziționare a contactelor mobile a comutatoarelor de tip liniar reprezintă, de asemenea, o cauză frecventă a avarierii transformatoarelor. De fapt, în lucrările elaborate și publicate de specialiștii uzinei în legătură cu acest tip de comutator [1, 2, 3] s-a acordat o atenție deosebită acestei probleme, atît prin evidențierea cauzelor care conduc la erorile de poziționare, cît și prin elaborarea unor soluții care să ducă la diminuarea lor.

Pornindu-se de la configurația geometrică a comutatorului de tip liniar, s-a obținut ecuația erorii de poziționare [1, 2], cu ajutorul căreia s-a stabilit influența parametrilor geometrici asupra erorii de poziționare. Studiul extremelor acestor ecuații a dus la obținerea condițiilor de siguranță maximă a comutatorului, în condițiile existenței erorii de poziționare.

Ulterior, pornind de la analogia existentă din punct de vedere cinematic între un comutator liniar și un mecanism „bielă-manivelă" s-a obținut [2] o formă a ecuației erorii de poziționare, prin care s-a evidențiat influența pantei caracteristicii statice a comutatorului asupra valorii erorii de poziționare. Din studiul acestei ecuații a rezultat necesitatea ca lanțul cinematic aferent comutatorului să acționeze ca un element care atenuează efectul erorii de prescriere, fapt posibil cînd panta caracteristicii statice a comutatorului devine subunitară.

În articolul de față sînt prezentate rezultatele ultimelor investigații ale autorului, legate de comportarea comutatoarelor de prize în condițiile lipsei uleiului din cuva transformatorului.

În mod normal, comutatorul de prize plasat la partea superioară a transformatorului între capac și miez trebuie să se afle în totalitate imersat în uleiul electroizolant din cuvă. Datorită unor cauze multiple (neetanșeități, sustrageri etc.), uleiul scade mult sub nivelul comutatorului de prize. Lipsa uleiului, care constituie un izolant mai bun decît aerul, favorizează apariția descărcărilor electrice prin arc direct, precum și a descărcărilor superficiale (conturnărilor) între contacte și față de piesele metalice legate la masă.

În majoritatea cazurilor arcurile electrice și conturnările ce scurtcircuitează anumite porțiuni ale înfășurării transformatorului duc la avarierea acestora, în urma șocurilor electrodinamice și a efectului termic apărute simultan.

* Ing. Dorel Cernomazu — IRE Bacău

Arcurile electrice directe sînt favorizate de existența muchiilor și vîrfurilor ascuțite existente pe contactul sau piesele metalice legate la masă, în timp ce conturnările apar, de regulă, pe suprafețele poroase, cu asperități care reține într-o măsură mai mare umezeala și murdăria.

În cele ce urmează, sînt prezentate cîteva cazuri tipice de avarii studiate de autor, în legătură cu scăderea nivelului de ulei din cuva transformatorului.

Scăderea nivelului de ulei coroborată cu apariția unor supratensiuni poate să ducă la apariția unor descărcări electrice directe între muchiile ascuțite ale contactului mobil și contactele de distribuție învecinate (fig. 1). În aceleași condiții arcurile electrice se pot amorsa între porțiunea neizolată a conexiunilor de la comutator și grinzile de presare ale miezului (fig. 2) sau muchiile ascuțite ale pachetelor de tole ale jugului sperior (fig. 3). Este posibilă,

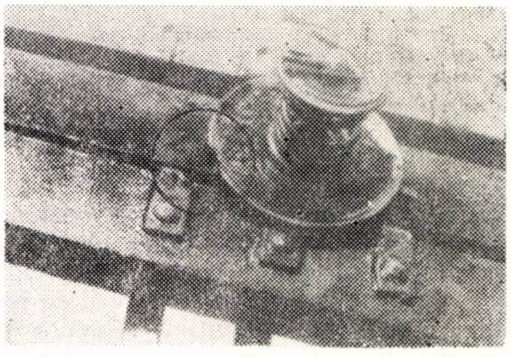


Fig. 1.1 — nivelul uleiului din cupă; 2 — comutator de prize; 3 — cupă electroizolantă cu ulei; 4 — nivelul uleiului din cuva transformatorului; 5 — partea decuvabilă a transformatorului; 6 — cuva transformatorului.

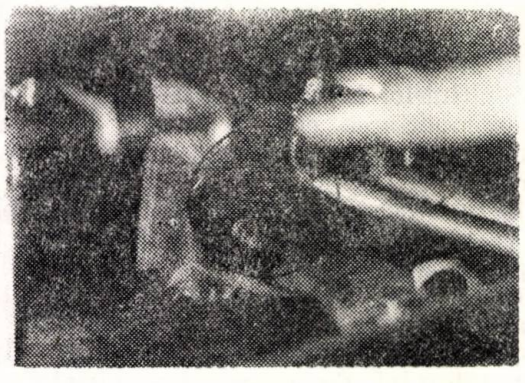


Fig. 2.

de asemenea, amorsarea arcurilor electrice între părțile ascuțite ale contactului mobil (cuiul spintecat pentru fixarea resortului) și capac așa cum indică figura 4, care prezintă urmele unui arc electric pe suprafața interioară a capacului transformatorului.

Figura 5 prezintă urmele unui arc electric amorsat între unul din contactele fixe aferente fazei C și vîrful ascuțit al bridei de capăt care fixează cele două tije electroizolante fixe ale comutatorului. Arcurile electrice se pot amorsa și între conexiunile înfășurărilor de joasă și înaltă tensiune, așa cum indică figurile 6 și 7.

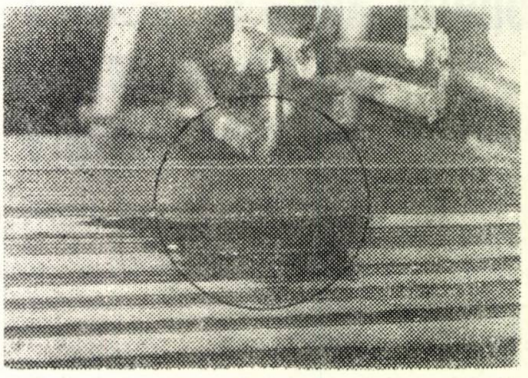


Fig. 3.

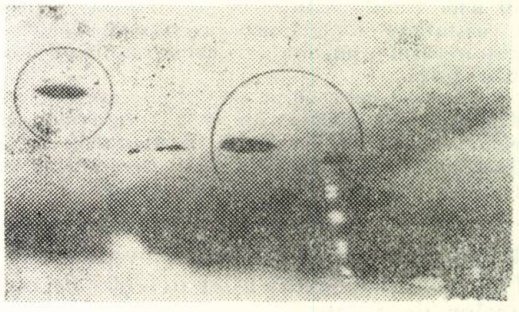


Fig. 4.

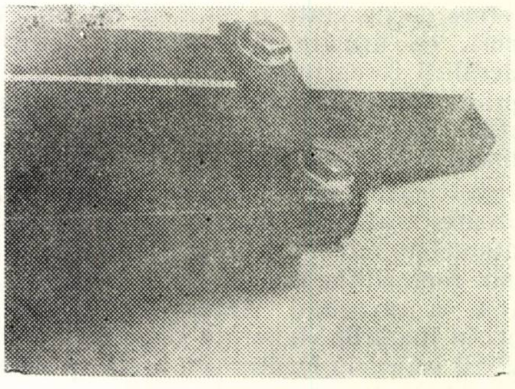


Fig. 5.

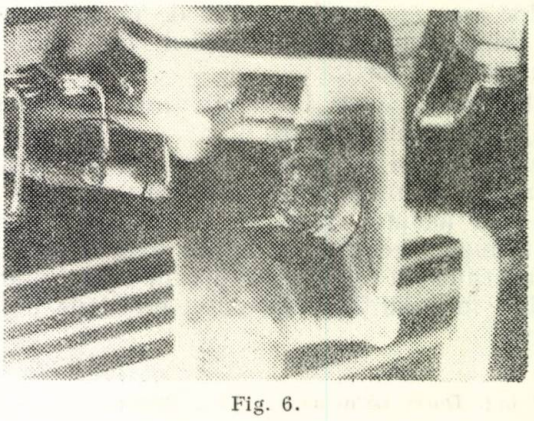


Fig. 6.

Inițial, defectul s-a manifestat printr-un dublu arc electric amorsat între partea neizolată a conexiunii fazei **C** (20 kV) de la comutator și compensatoarele elastice de la borna de nul și borna **a** de la înfășurarea de 0,4 kV, continuîndu-se printr-un arc electric stabilit în final între cele două compensatoare ale înfășurării de 0,4 kV (fig. 7).

Defectul descris a dus la avarierea înfășurării de joasă și înaltă tensiune a transformatorului, așa cum se vede în figura 8.

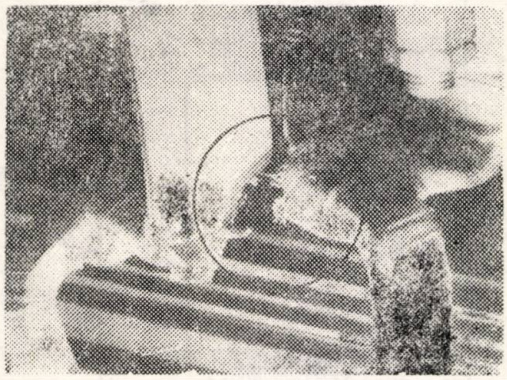


Fig. 7.

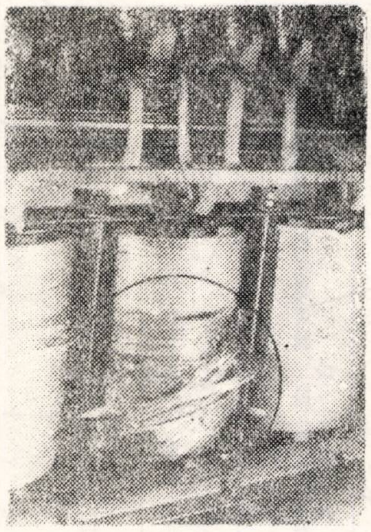
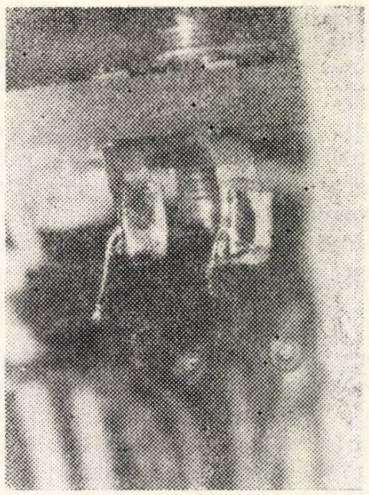


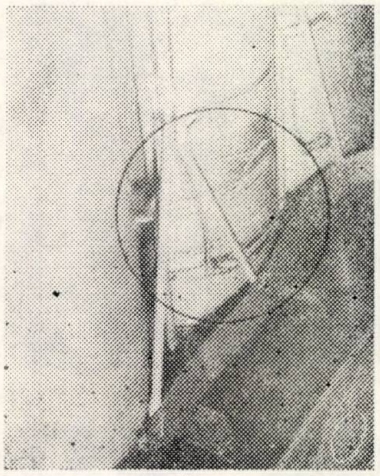
Fig. 8.

Supratensiunile pot duce, în lipsa uleiului electroizolant, la amorsarea unor arcuri electrice între două contacte de distribuție alăturate (fig. 9*a*), fapt ce a condus la secționarea prin efect termic a conexiunilor și la avarierea porțiunii de bobinaj cuprinsă între cele două contacte (fig. 9*b*).

Conturnările electrice pe suprafețele izolante ale comutatoarelor electrice sînt la fel de frecvente. Figura 10 prezintă urmele unor conturnări între unul din contactele fixe aferente fazei **C** a unui comutator liniar și brida metalică de fixare, iar figura 11, o conturare între contactele unui comutator liniar afe-



a



b

Fig. 9.

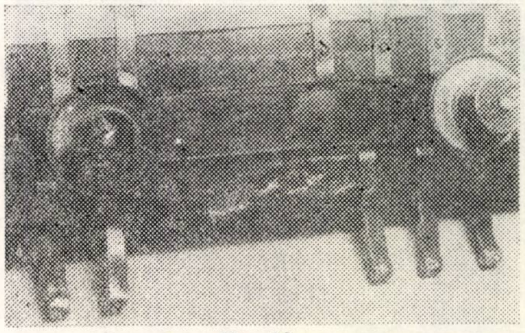


Fig. 10.

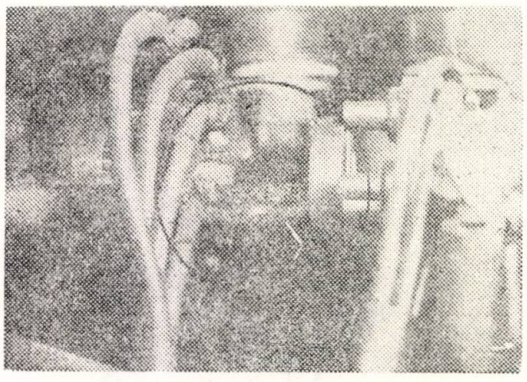
Fig. 11.

Fig. 14. *1* — nivelul uleiului din cupă; *2* — comutator; *3* — cupă; *4* — nivelul uleiului din cuvă; *5* — partea decuravilă a transformatorului; *6* — cuvă transformator. ⟶

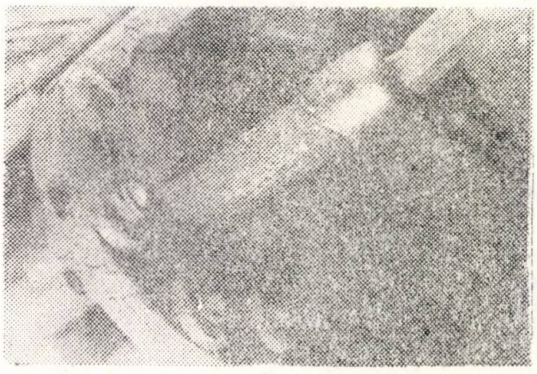
rente a două faze vecine. Astfel de conturnări sînt des întîlnite şi la comutatoarele de tip rotativ, pe suprafaţa tijei electroizolante de acţionare a contactelor mobile rotative. Conturnările au fost observate atît între contactele mobile aparţinînd unor faze învecinate (fig. 12*a*), cît şi faţă de părţile metalice legate la masă (fig. 12 *b*).

După cum s-a menţionat, un astfel de defect, prin scurtcircuitele produse duce la avarierea înfăşurărilor transformatorului.

Efectul distructiv al arcurilor electrice se amplifică, de cele mai multe ori, prin explozia cuvei transformatorului, ca urmare a formării



a



b

Fig. 12.

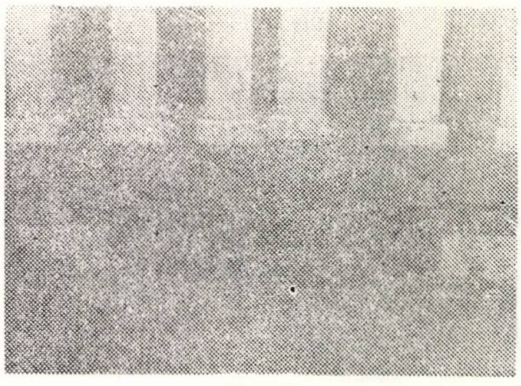
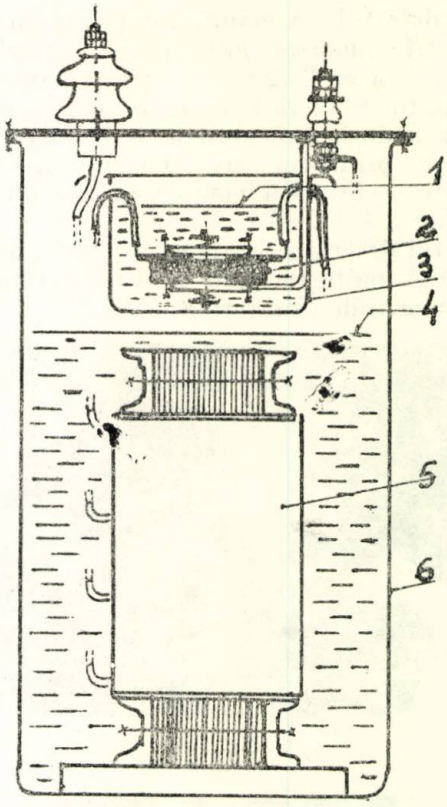


Fig. 13.



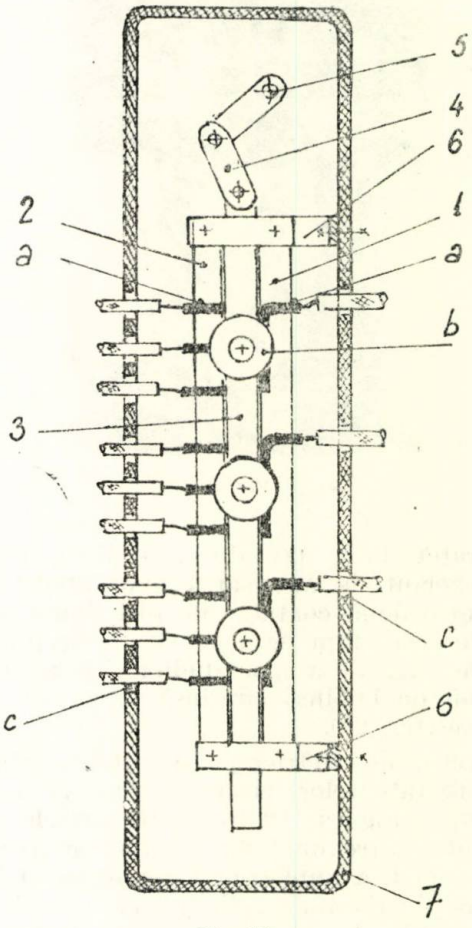


Fig. 15.

într-un timp foarte scurt a unei cantităţi mari de gaze provenite din descompunerea uleiului electroizolant (fig. 13).

Pentru protejarea comutatorului în situaţiile în care nivelul general al uleiului din cuva transformatorului scade sub nivelul comutatorului, autorul a conceput şi experimentat un dispozitiv de protecţie constituit dintr-o cupă electroizolantă, în care este introdus comutatorul care rămîne permanent imersat în ulei, ca urmare a faptului că nivelul uleiului reţinut în cupă rămîne constant indiferent de fluctuaţiile nivelului general al uleiului din cuva transformatorului (fig. 14).

Detalii în legătură cu acest dispozitiv de protecţie sînt prezentate în figurile 15 şi 16.

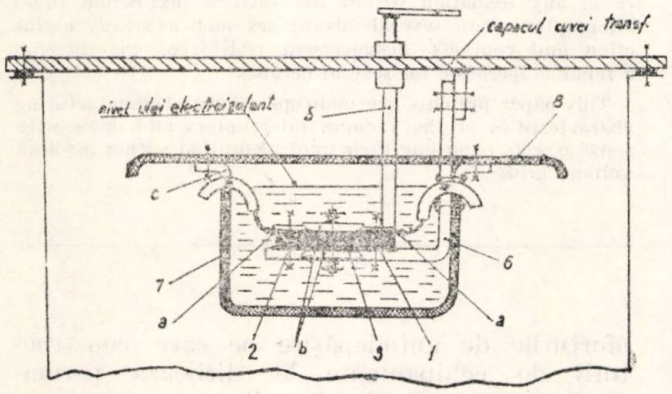


Fig. 16.

Comutatorul este compus din două tije electroizolante **1** şi **2**, pe care sînt montate nişte contacte fixe **a** şi o tijă electroizolantă mobilă **3** pe care sînt montate nişte contacte mobile **b**; tija **3** este acţionată printr-un sistem de pîrghii **4** de la un ax de acţionare **5**.

Sistemul de tije **1, 2, 3** este montat pe două suporturi metalice **6** fixate pe capacul cuvei transformatorului. Tot pe suporturile **6** este fixată o cupă electroizolantă **7** din sticlostratitex, astfel încît părţile active ale comutatorului să fie poziţionate la partea inferioară. Marginile longitudinale ale cupei sînt prevăzute cu nişte degajări **C** prin care sînt introduse conexiunile aferente comutatorului.

Partea superioară a cuvei este prevăzută cu capac electroizolant **8**, care depăşeşte marginile cupei, astfel încît acesta constituie un ecran electroizolant suplimentar împotriva apariţiei arcurilor electrice între contacte şi conexiuni, pe de o parte, şi capacul metalic al cuvei, pe de altă parte. Soluţia cuvei electroizolante cu modificările ce se impun poate fi aplicată şi în cazul comutatoarelor rotative.

Concluzii

Comutatorul de prize pentru reglajul tensiunii în stare deconectată reprezintă unul din elementele slabe ale transformatoarelor, deoarece include un număr mare de elemente metalice neizolate, montate la distanţe mici între ele şi aflate în cele mai multe cazuri la o tensiune de 20 kV. În astfel de condiţii scăderea nivelului uleiului din cuvă sub nivelul comutatorului duce în cele mai multe cazuri la apariţia unor arcuri electrice şi conturnări între contacte şi faţă de piesele metalice legate la masă, care provoacă avarierea bobinajelor şi cuvei transformatorului.

Dispozitivul propus de autor menţinînd în permanenţă comutatorul imersat în ulei reduce mult pericolul apariţiei arcurilor electrice şi a conturnărilor, contribuind într-o măsură însemnată la reducerea numărului de avarii la transformatoarele cu puteri pînă la 1600 kVA. Se apreciază că economia obţinută anual prin reducerea numărului de transformatoare avariate, ca urmare a folosirii dispozitivului de protecţie propus, se ridică la valoarea de 10 milioane lei.

Bibliografie

[1] Cernomazu, D. *Consideraţii privind comportarea în exploatare a comutatoarelor de prize de tip liniar.* În: Energetica, 29, 1981, nr. 4, p.

[2] Cernomazu, D. şi colectiv. *Noi consideraţii privind comportarea în exploatare a comutatoarelor de prize de tip liniar. Contribuţii la perfecţionarea lor.* În: Lucrările celui de al VI-lea simpozion „Siguranţa în funcţionare a instalaţiilor energetice, P. Neamţ, 2—4 decembrie 1981.

[3] Michiu, Gh., Cernomazu D. *Contribuţii la creşerea fiabilităţii transformatoarelor de forţă.* În: Lucrările Conferinţei Naţionale de Energetică — Cluj, 1988.

[4] Cernomazu, D. *Comutator de ploturi.* Brevet R.S.R. nr. 89.573.

(Primit la 9 septembrie 1988, acceptat la 16 decembrie 1988)

Tendințe actuale în tehnica echipamentelor de comutație în vid

Ș.l. dr. ing. ADRIAN BARABOI, as. ing. EMILIAN FURNICĂ*

Descriptori : comutație în vid

CZ : 621.311.11 :621.313.047

În decursul ultimilor zece ani, dinamica dezvoltării diverselor clase de echipament de comutație a evidențiat o tendință de înlocuire, în rețelele de medie tensiune, a echipamentelor clasice cunoscute, prin aparatură modernă de comutație cu vid.

Datorită etanșeității camerei de stingere a arcului electric și în absența oricărei oxidări în tubul de tăiere în vid, întrerupătoarele în vid oferă multiple avantaje, cum ar fi : constanța fenomenului de stingere și rezistența de trecere a contactelor, ceea ce reprezintă un ansamblu de garanții pentru o fiabilitate ridicată pe o perioadă de zeci de ani.

Acest articol descrie principalele caracteristici, de construcție și funcționare ale actualelor disjunctoare cu comutație în vid și prezintă cîteva aspecte privitoare la utilizarea acestora în cadrul rețelelor de medie tensiune.

During the last decade, the dynamic development of different switching equipment has outlind tendencies to replace classical switchgear by modern vacuum switchgear in medium voltage networks.

Due to the extinction chamber tightness and to the absence of any oxidation within the vacuum extinction tube, interruptors show several advantages such as steady extinction and contacts displacement resistance, guaranteeing a reliable operation for several decades.

This paper presents the main operation and manufacturing characteristics of the vacuum interruptors and deals with some aspects regarding their implementation within medium voltage grids.

Introducere

Cercetările efectuate de diferite colective din țara noastră avînd drept scop punerea la punct a unor contactoare și întrerupătoare cu comutație în vid, precum și trecerea la producția de serie a întrerupătoarelor și celulelor blindate cu hexafluorură de sulf, reprezintă pași importanți pe calea modernizării echipamentului de comutație utilizat în sistemul energetic național.

Generalizarea, într-o serie de țări, a producerii și folosirii echipamentelor cu comutație în vid impune prezentarea principalelor realizări tehnice și a tendințelor actuale în acest domeniu ; utilizarea acestui tip de echipament are importante efecte tehnico-economice, concretizate în creșterea siguranței în funcționare a instalațiilor electroenergetice și în reducerea simțitoare a cheltuielilor de exploatare a acestora.

1. Condițiile tehnice și funcționale impuse echipamentelor de comutație actuale

Dezvoltarea actuală a tehnicii echipamentelor de comutație este propulsată de pe două direcții principale : prima decurge din cerințele legate de dezvoltarea sistemelor energetice, cea de a doua este intrinsecă și are la bază eforturile de autodepășire pe care constructorii de echipamente le dirijează permanent spre obiectivul atingerii unor performanțe tot mai înalte pentru echipamentul fabricat.

În sistemele energetice este prezentă tendința concentrării producției de energie în unități cu puteri mari, cum sînt centralele nucleare sau cele care funcționează pe bază de cărbuni ; se înregistrează creșterea valorilor nominale ale tensiunilor și curenților, puterile de scurtcircuit fiind din ce în ce mai mari.

În acest context, echipamentele de comutație destinate instalațiilor de medie tensiune trebuie să satisfacă cerințe legate în principal de creșterea valorilor nominale ale curenților și ale capacităților nominale de rupere la scurtcircuit. Pentru majoritatea întrerupătoarelor de medie tensiune se apreciază ca necesare valori ale curentului nominal de 1250 .... 2500 A și ale capacității nominale de rupere la scurtcircuit de pînă la 20 ... 31,5 kA. Pentru 15 ... 20% din aceste echipamente, valorile parametrilor menționați trebuie să atingă 4000 A, respectiv 40 ...63 kA.

Performanțe ridicate se impun întrerupătoarelor folosite în centralele nuclearoelectrice la tensiunea generatoarelor, unde curenții nominali pot atinge valori de 40 kA, iar capacitatea nominală de rupere la scurtcircuit cerută întrerupătorului este de circa 200 kA [13]. Se apreciază că aceste cerințe nu vor suferi schimbări de fond în următorii 15 ani [3].

* Ș.l dr. ing. Adrian Baraboi, as. ing. Emilian Furnică — Institutul Politehnic, Iași.

Creşterea tensiunilor nominale şi a puterilor de scurtcircuit în instalaţiile de transport al energiei electrice conduce la funcţionarea, în condiţii foarte severe de solicitare, a întrerupătoarelor aferente; sînt în studiu echipamente de comutaţie cu tensiuni nominale de 750... ...1200 kV, pentru curenţi nominali de 4000 A şi capacităţi nominale de rupere la scurtcircuit de 40...63 kA.

Datorită funcţiilor îndeplinite potrivit concepţiei tehnice actuale, echipamentele de comutaţie reprezintă în instalaţii adevărate „concentratoare de eforturi" în sensul că, pe durata funcţionării, acestea sînt supuse unor solicitări complexe, de naturi diferite şi cu intensităţi de valori mari.

În stabilirea soluţiilor tehnice şi în construcţia echipamentelor de comutaţie moderne, constructorii sînt obligaţi să ţină seama de toate aceste solictări, astfel încît aparatele obţinute la parametrii electrici impuşi să se caracterizeze în acelaşi timp prin indici de fiabilitate cît mai înalţi, cheltuieli de exploatare reduse, dimensiuni de gabarit mici, consum diminuat de materiale active, independenţă funcţională faţă de condiţiile de mediu, preţ competitiv etc.

În contextul dezvoltării tehnologice generale şi beneficiind în special de tehnologiile noi din domeniile de vîrf, constructorii au realizat în ultimele decenii noi clase de echipamente capabile să satisfacă pe deplin cerinţele impuse de dezvoltarea sistemelor energetice; printre acestea se numără şi echipamentele de comutaţie cu stingerea arcului electric în vid avansat.

2. Caracteristicile contructive şi funcţionale ale echipamentelor de comutaţie în vid

Utilizarea vidului avansat (10^{-12}...10^{-7} bar)* ca mediu electroizolant şi de stingere a arcului electric de comutaţie se bazează pe proprietăţile electroizolante [11] şi pe particularităţile procesului de amorsare şi de ardere a arcului electric într-un spaţiu vidat.

Arcul electric amorsat în vid, la separarea contactelor, este o plasmă de vapori proveniţi din metalul pieselor de contact, caracterizată printr-o mare viteză de difuzie în spaţiul vidat. Practic, arcul electric este constituit din numeroase coloane conectate în paralel, fiecare conducînd curenţi cu intensitatea de circa 100 A [2]; extremităţile acestor coloane se deplasează statistic uniform şi foarte rapid pe suprafeţele de contact, întregul arc electric fiind stabilizat sub acţiunea forţelor electrodinamice de atracţie dintre coloane.

Viteza de difuzie a plasmei creşte rapid pe măsură ce intensitatea curentului scade şi se apropie de trecerea prin zero, fiind astfel create condiţiile necesare condensării vaporilor de metal şi refacerii vidului în camera de stingere, în urma cărora se obţine întreruperea definitivă a curentului.

Pentru ca viteza de refacere a rigidităţii dielectrice să nu fie diminuată prin difuzia plasmei, arderea arcului electric se stabilizează prin adoptarea unor forme adecvate pentru piesele de contact [5, 6] şi prin producerea unor cîmpuri magnetice axiale [10, 15] în zona contactelor.

La stingerea arcului electric se urmăreşte ca o mare parte din vaporii metalici ai plasmei (circa 90% [2]) să se depună prin condensare pe suprafeţele de contact din care provin; în acest fel, metalul pieselor de contact este recuperat aproape integral, electroeroziunea este limitată la valori mici şi se obţine o creştere considerabilă a duratei de funcţionare a contactelor. Condensarea vaporilor este stimulată, prin amplasarea, în vecinătatea contactelor, a unor ecrane metalice spre care plasma difuzează. În figura 1 se prezintă cîteva tipuri de camere de stingere cu vid [6].

Durata de funcţionare a unei camere de stingere vidate depinde în foarte mare măsură de soluţia constructivă adoptată, de realizarea unui înalt grad de etanşare, de natura materialelor pieselor de contact.

Presiunea iniţială în camera de stingere este de circa 10^{-12} bar. Creşterea presiunii pe durata exploatării (fig. 2) se datorează atît neetanşeităţilor de fabricaţie, cît şi difuziei normale a aerului prin pereţi; pentru o durată de funcţionare de circa 20 ani, realizată de camerele de stingere actuale, este necesar ca pierderea specifică de presiune să nu depăşească valoarea de 10^{-16} bar.l/s [2]. Camera de stingere devine inutilizabilă la depăşirea

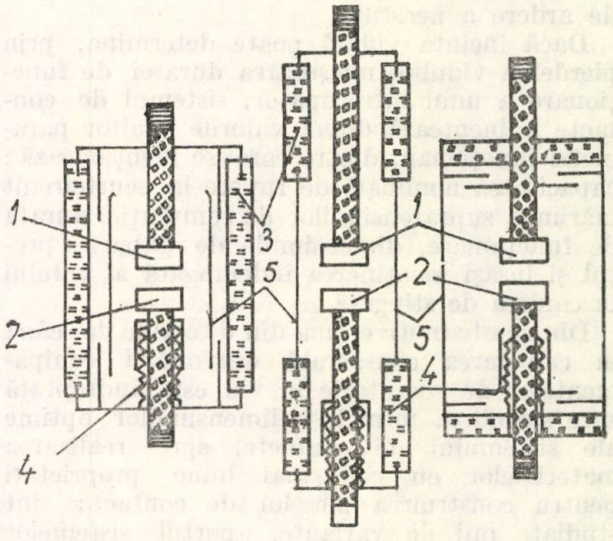


Fig. 1. Variante constructive de camere de stingere vidate: 1 — contact fix; 2 — contact mobil; 3 — capsulă de sticlă; 4 — burduf metalic de etanşare: 5 — ecran de condensare

* 1 bar = 0,1 MPa

presiunii de 10^{-7} bar, deoarece, lungimea drumului liber al particulelor de gaz rezidual devine comparabilă cu dimensiunile camerei şi se poate ajunge la ionizarea prin şoc.

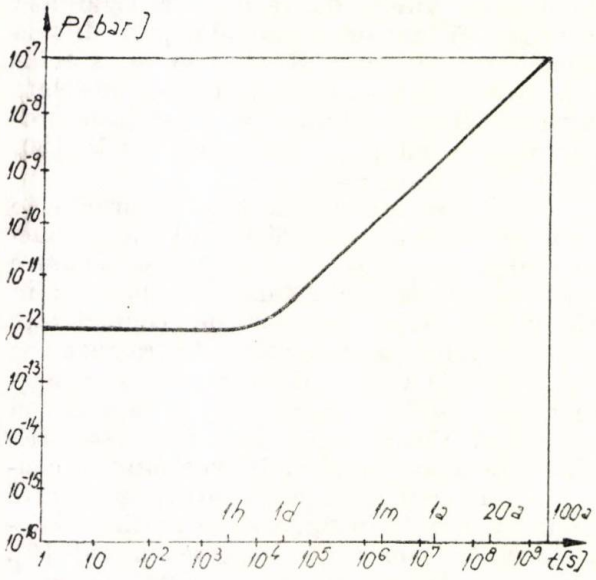


Fig. 2. Creşterea presiunii în camera de stingere cu vid.

În construcţia contactelor întrerupătoarelor cu stingerea arcului electric în vid se au în vedere următoarele aspecte tehnice:

— realizarea nivelului nominal de izolaţie între contactele deschise;

— asigurarea unui înalt grad de puritate pentru materialele pieselor de contact;

— dozarea corespunzătoare a cantităţii de vapori metalici eliberaţi la deconectare:

— adoptarea formei şi dimensiunilor optime pentru piesele de contact;

— stabilizarea prin cîmpuri magnetice a arcului electric de deconectare, în faza finală de ardere a acestuia.

Dacă incinta vidată poate determina, prin pierderea vidului, micşorarea duratei de funcţionare a unui întrerupător, sistemul de contacte influenţează direct valorile multor parametri funcţionali, dintre care se menţionează: capacitatea nominală de rupere la scurtcircuit mărimea supratensiunilor de comutaţie, durata de funcţionare, dimensiunile de gabarit, preţul şi însăşi menţinerea îndelungată a vidului în camera de stingere.

Din aceste motive, una din direcţiile de efort în cercetarea consacrată dezvoltării echipamentelor de comutaţie în vid este îndreptată spre stabilirea formei şi dimensiunilor optime ale sistemului de contacte, spre realizarea materialelor cu cele mai bune proprietăţi pentru construirea pieselor de contact; sînt studiate mii de variante, aportul sistemelor automate de calcul în acest domeniu fiind indispensabil.

Între piesele de contact situate la distanţe mici, de cîteva zeci de milimetri, intensitatea cîmpului electric are valori însemnate încît forma şi dimensiunile pieselor de contact, precum şi gradul de prelucrare a suprafeţelor acestora joacă un rol important în asigurarea unor valori mari pentru tensiunea de străpungere; deoarece străpungerea, în acest caz, are loc prin emisie electronică la catod, micile asperităţi sau neuniformităţi ale suprafeţelor de contact pot conduce la iniţierea străpungerii în cîmp electric.

Ţinînd seama de procesele repetate de vaporizare-condensare, este necesar ca materialul contactelor să aibă un înalt grad de puritate şi să fie lipsit de gaze; în acest fel este posibilă redepunerea uniformă a metalului vaporizat pe suprafeţele de contact şi, în acelaşi timp, menţinerea vidului în camera de stingere.

Un alt aspect tehnic, determinant pentru alegerea materialelor contactelor care funcţionează în vid, este legat de tendinţa de sudare a pieselor de contact aflate în atingere. Atunci cînd întrerupătorul este închis, deoarece piesele de contact nu sînt separate nici măcar prin straturi străine monomoleculare, tendinţa de sudare se manifestă vizibil chiar la temperatură normală şi sub acţiunea unor forţe de apăsare avînd valori mici. Ruperea, la deschidere, a punţilor metalice rezultate prin sudare se soldează cu apariţia unor asperităţi pe suprafeţele de contact, fapt care conduce la micşorarea tensiunii de străpungere în camera de stingere.

Materialele pentru contactele întrerupătoarelor cu vid trebuie să satisfacă, de asemenea, cerinţe privind conductivitatea termică şi presiunea de vapori, astfel încît să fie posibilă dozarea optimă a cantităţii de vapori eliberate la deconectare. Datorită vitezei mari de difuzie a plasmei în vid, arcul electric este instabil şi poate fi stins înainte de momentul anulării naturale a intensităţii curentului; se manifestă astfel tendinţa aşa-zisă de deconectare cu „smulgere (tăiere) de curent", soldată cu supratensiuni de comutaţie avînd valori mari. Din acest motiv, intensitatea curentului în momentul stingerii definitive a arcului electric nu trebuie să depăşească valori de cîţiva amperi care, constituind un criteriu de calitate pentru întrerupătoarele cu vid, se obţin prin optimizarea presiunii de vapori şi a conductivităţii termice a materialelor de contact.

Materialele cercetate şi utilizate pentru construcţia contactelor sînt aliaje sau sinterizate pe bază de cupru, căruia i se adaugă anumite cantităţi de wolfram, molibden sau crom; influenţe favorabile privind micşorarea efectului de „smulgere de curent" se obţin prin adăugarea de stibiu şi zinc.

În construcția multor întrerupătoare actuale cu comutație în vid a fost unanim adoptat drept material de contact sinterizatul cuprucrom, creat inițial de English Electric Comp. Limited, la laboratoarele pentru cercetare Nelson din Stafford [2, 5].

Se studiază completarea structurii Cu—Cr cu alte elemente; astfel materialul cu compoziția 52% Cu, 25% Cr, 13% Bi, 7% Bi_2Te_3, 3% TiTe [16] se caracterizează prin valori foarte mici ale curentului tăiat și viteză ridicată de creștere a rigidității dielectrice în camera de stingere, cantitatea de vapori produsă la deconectare fiind substanțial diminuată.

Forma constructivă a contactelor și influența ei asupra capacității nominale de rupere la scurtcircuit sînt studiate prin filmare rapidă, cu viteze de 10 000 cadre/s, evidențiindu-se procesele care au loc la deconectare.

O evoluție a geometriei contactelor electrice care echipează întrerupătoarele cu comutație în vid, este prezentată în figura 3. De la contactele cu petală spiralată (fig. 3 *a*) s-a trecut la utilizarea contactelor de tip „Contrate" (fig. 3*b*, *c*), care au formă de cupă cu crestături înclinate pe pereții laterali, pentru a produce, prin suflaj magnetic, rotirea arcului electric pe suprafața circulară de contact. Perfecționarea contactelor „Contrate" a permis reducerea diametrului cupei de la 100 mm la 80 mm, simultan cu creșterea capacității nominale de rupere la scurtcircuit de la 31,5 kA la

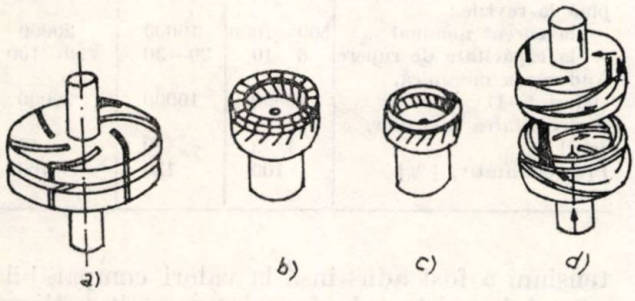


Fig. 3. Contacte cu cîmp magnetic transversal: a — petală spiralată; b, c — Contrate; d — Folted Petal.

40 kA, [5], pentru întrerupătoarele din clasa 36 kV. Numărul mare de crestături (minimum 10) scumpește construcția acestui tip de contact.

Combinînd cele mai bune efecte ale geometriilor din figura 3*a*, *b*, *c* s-a realizat recent contactul de tip „Folted Petal" (fig. 3*d*); acesta, cu un diametru de numai 35 mm, întrerupe curenți de scurtcircuit cu intensitatea de 20 kA, [5].

Contactele prezentate în figura 3 sînt din categoria celor cu cîmp magnetic orientat transversal în raport cu coloana arcului electric; la aceste contacte, intensitatea curentului întrerupt este limitată la circa 40 kA, chiar dacă diametrul pieselor de contact ajunge la 100...150 mm. La aceleași dimensiuni ale contactelor este posibilă aproape dublarea curentului întrerupt, dacă în zona de ardere a arcului electric se creează un cîmp magnetic axial [3].

O astfel de soluție constructivă este reprezentată în figura 4 [10]. Contactul este con-

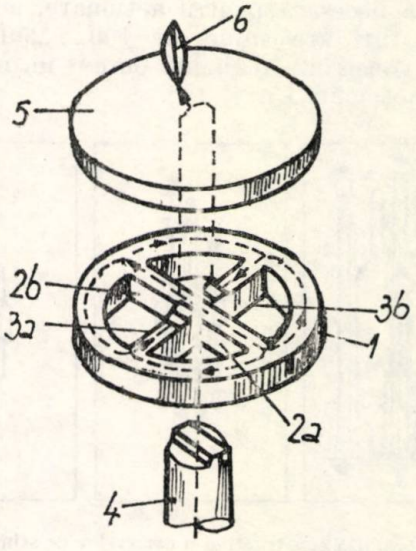


Fig. 4. Contact cu cîmp magnetic axial: 1—suport circular; 2a, 2b, 3a, 3b — trasee de curent; 4 — tijă; 5 — disc; 6 — arc electric.

stituit din suportul circular **1**, tija **4** și discul **5**. Datorită circulației curentului pe traseele **2a, 2b, 3a, 3b,** în zonele de ardere a arcului electric **6** se produce un cîmp magnetic axial multipolar. Sub acțiunea acestuia, arcul electric ocupă practic uniform spațiul dintre contacte, fiind astfel împiedicată difuzia plasmei reziduale, care încetinește procesul de refacere a rigidității dielectrice în camera de stingere. Cu acest tip de contact s-au întrerupt curenți cu intensitatea de 48 kA la tensiunea de 63 kV, respectiv de 72 kA la tensiunea de 6,3 kV [10]; varianta constructivă prezentată echipează întrerupătoarele firmei Hitaki (7,2 kV/3000 A/63 kA).

Creșterea performanțelor sistemului de contacte a permis reducerea simțitoare a dimensiunilor de gabarit ale camerelor de stingere. vidate; o evoluție sub acest raport, [2], este prezentată în figura 5.

Indicatorii de fiabilitate ai întrerupătoarelor de orice tip sînt puternic afectați de nefuncționarea părții mecanice și a mecanismului de acționare care le echipează; circa 80% din toate refuzurile și defectele întrerupătoarelor sînt de natură mecanică [3].

Mecanismele de acționare care echipează întrerupătoarele cu comutație în vid trebuie

să se caracterizeze prin durate mari de funcţionare fără revizii şi reparaţii, anduranţa mecanică necesară fiind de cîteva zeci de mii de acţionări, compatibilă cu indicatorii de fiabilitate ai părţii active (cameră de stingere, sistem de contacte). Cerinţele impuse mecanismelor de acţionare ale întrerupătoarelor cu comutaţie în vid sînt îndeplinite în condiţii bune de variantele cu acumulare de energie în resorturi, uşor de adaptat pentru deplasarea pe distanţe mici a contactelor mobile. Energia necesară pentru acţionare, acumulată în resorturi, are valori de 100...250 J, variantele construite realizînd curent un număr de $3 \cdot 10^4$ acţionări [3, 4, 12].

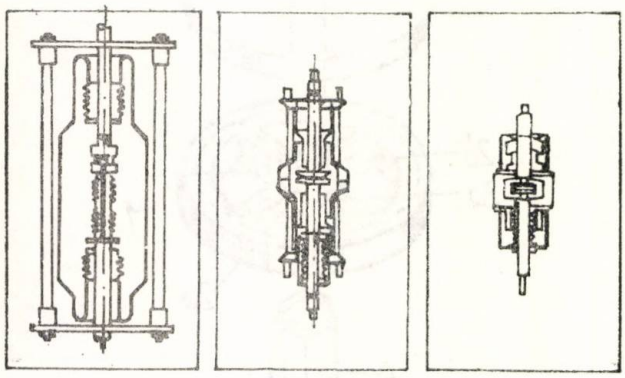


Fig. 5. Evoluţia constructivă a camerelor de stingere cu vid.

3. Utilizarea echipamentelor de comutaţie în vid

Domeniul de bază al utilizării întrerupătoarelor cu vid este cel al instalaţiilor de medie tensiune, în gama 6...35 kV. Pentru aceste tensiuni, întrerupătoarele construite au curenţi nominali de pînă la 3000 A şi capacităţi nominale de rupere la scurtcircuit de 25...40 kA la 24 kV şi de 40...100 kA la tensiunea de 13,8 kV, [15]; în Europa, firma Siemens studiază introducerea în fabricaţie a unui întrerupător de 12/15 kV, avînd curentul nominal de 4000 A şi capacitatea nominală de rupere la scurtcircuit de 63 kA, iar în laboratoarele de încercări din Japonia s-a obţinut întreruperea, la medie tensiune, a unui curent de scurtcircuit de 200 kA.

Funcţionarea echipamentului de comutaţie cu vid este garantată pentru 20 de ani sau pentru 10 ani şi 30 000 de operaţii de comutaţie, [12]; dintre acestea, circa 100 de deconectări pot fi efectuate la capacitatea nominală de rupere la scurtcircuit [2].

Se apreciază [12], că perspectivele extinderii întrerupătoarelor cu comutaţie în vid la tensiuni nominale mai mari de 72,5 kV sînt limitate de necesitatea creşterii exagerate a distanţelor dintre contacte, a distanţelor corespunzătoare izolaţiei interne şi externe, precum şi datorită unei construcţii în final complicate a acestor echipamente. Cu toate acestea, firma Toshiba are în fabricaţie un întrerupător cu vid de 84 kV /1250 A/25 kA, [15], pentru utilizări speciale fiind realizat şi un întrerupător cu tensiunea nominală de 168 kV şi capacitatea nominală de rupere la scurtcircuit de 40 kA; tot în laboratoarele firmelor japoneze, [15], se încearcă întrerupătoare cu tensiunea nominală de 145 kV, precum şi echipamente de comutaţie în vid pentru curent continuu la tensiunea de 250 kV, cu izolaţie externă în hexafluorură de sulf.

Unele rezerve ale utilizatorilor faţă de întrerupătoarele cu vid sînt fondate pe ideea că acestea produc la deconectare supratensiuni de comutaţie mai mari decît alte categorii de echipamente. Studiul supratensiunilor de comutaţie care însoţesc funcţionarea întrerupătoarelor cu vid arată că acestea îşi au originea în tendinţa de „smulgere (tăiere) a curentului", precum şi în procesele de reamorsare repetată a arcului electric, [14]. Nivelul acestor supra-

Tabelul 1

Caracteristica \ Tipul întrerupătorului	Ulei puţin	Hexafluorură de sulf	Vid
Deplasarea contactelor, [mm]	150	50	14
Viteza de desprindere a contactelor, [m/s]	4	2	1
Numărul de întreruperi pînă la revizie:			
— la curent nominal	500—1000	10000	20000
— la capacitate de rupere	6—10	20—30	50—100
Anduranţa mecanică, cicluri I—D	10000	10000	20000
Periodicitatea reviziilor, [ani]	1—3	10	10
Preţ orientativ, [%]	100	130	160

tensiuni a fost adus însă la valori comparabile cu cel înregistrat la funcţionarea altor tipuri de întrerupătoare, ca urmare a perfecţionărilor introduse în construcţia sistemului de contacte. Pentru limitarea supratensiunilor de comutaţie, produse în instalaţiile de medie tensiune la funcţionarea echipamentelor de comutaţie cu vid, se recomandă utilizarea unor mijloace moderne de protecţie, cum sînt descărcătoarele cu oxizi metalici [7, 9, 14].

Tehnica vidului avansat permite în momentul de faţă realizarea unor echipamente de comutaţie cu parametri electrici avînd valori performante şi cu indici de fiabilitate deosebit de înalţi; elocvente în acest sens sînt datele din tabelul 1, referitoare la întrerupătoare de producţie europeană, [3], din clasa 24 kV/630 A/16 kA.

Datorită performanţelor atinse, ponderea întrerupătoarelor cu vid în totalul echipamentelor de comutaţie utilizate în instalaţiile de medie tensiune este în creştere; aceasta era în 1983 de 35% în S.U.A., de 50% în Japonia, iar în 1984 — de 35% în Anglia, [3].

Analize mai recente, [1], arată că în 1985—1986 întrerupătoarele cu vid reprezintă circa 40% din totalul echipamentelor de comutaţie utilizate în instalaţiile cu tensiuni de 1...36 kV, o pondere de 20% revenind întrerupătoarelor cu hexafluorură de sulf.

Numărul întrerupătoarelor cu ulei puţin utilizate în aceste instalaţii este în scădere datorită unor cauze legate de creşterea preţurilor la uleiul mineral, cheltuielile mari de exploatare, precum şi de creşterea severităţii cerinţelor privind prevenirea incendiilor în instalaţii.

Dinamica utilizării diferitelor categorii de echipamente de comutaţie în instalaţiile de medie tensiune pe durata ultimelor decenii este reprezentată grafic în figura 6 [3].

Aceasta evidenţiază tendinţa crescîndă de înlocuire în instalaţii a întrerupătoarelor cu ulei puţin (curba 2) şi a celor electromagnetice (curba 4) cu echipamente moderne de comutaţie, de tipul întrerupătoarelor cu hexafluorură de sulf (curba 1) şi a celor cu comutaţie în vid (curba 3).

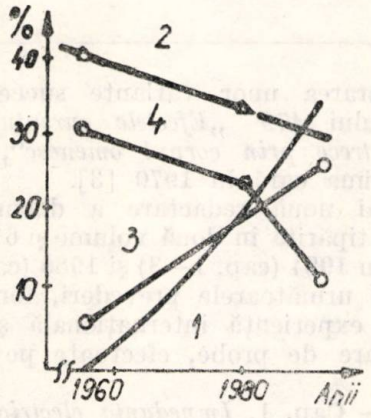


Fig. 6. Dinamica utilizării echipamentelor de comutaţie: 1 — cu hexafluorură de sulf; 2 — cu ulei puţin; 3 — în vid; 4 — electromagnetice.

Concluzii

Precizîndu-se principalele cerinţe impuse în funcţionarea echipamentelor de comutaţie actuale, se prezintă caracteristicile de bază, constructive şi funcţionale, ale întrerupătoarelor cu comutaţie în vid, stadiul actual privind performanţele atinse de aceste echipamente şi se evidenţiază unele aspecte referitoare la utilizarea lor în instalaţii.

Cercetările efectuate în ţara noastră privind introducerea tehnicii vidului avansat în construcţia contactoarelor de joasă şi medie tensiune, [8] şi a întrerupătoarelor cu comutaţie în vid se înscriu pe linia modernizării producţiei proprii de echipamente de comutaţie; introducerea acestor echipamente în fabricaţie şi apoi utilizarea lor vor avea ca efecte imediate creşterea siguranţei în funcţionare a instalaţiilor electroenergetice şi reducerea simţitoare a cheltuielilor de exploatare a acestora.

Bibliografie

[1] Armitage, D. *Development trends in vacuum switchgear.* In: Middle East. Elec., 10, 1986, 8, 35.

[2] Bretting, J., Kindler, H. *Neue Vakuumschaltkammern für Mittelspannungsschaltanlagen.* In: Elektrotechnik und Maschinenbau, 1982, 12, 532.

[3] Bronştein, A. M., Kozlov, V. B. *Sovremennoe sostoianie i tendenţii razvitiia vikliuciatelei visokogo napriajeniia.* In: Elektricestvo, 1987, 11, 10.

[4] Eliker, A. *Interaction entre mécanisme de commande et fonctionnement des bouteilles à vide.* În: Bull. sci. Assoc. ing. élec. sortis Inst. élec. Montefiore, 39, 1986, 3, 4.

[5] Falkingham, L. T. *Recent advances in vacuum interrupter design.* In: GEC Review, 1986, 2, 3.

[6] Flurscheim, C. H. *Teoriia i konstrukţii vikliuciatelei.* Energoizdat, Leningrad, 1982 (trad. din engl).

[7] Gavrilaş, N., Guşă, M., Baraboi, A. *Asupra unor mijloace moderne de protecţie a instalaţiilor electroenergetice împotriva supratensiunilor.* În: Energetica, 35, 1988 nr. 2, p. 73.

[8] Hortopan, Gh., Truşcă, V., Pavelescu, D. *Tehnica vidului în aparatele de comutaţie.* Conferinţa naţională de energetică, Bucureşti, 1983, 4.

[9] Hutter, W., Schuker, R. *Protection des moteurs haute tension contre les surtensions.* In: Revue Brown Boveri, 1986, 10, 592.

[10] Kurosowa, Y., Sugawara, H., Kawakubo, Y., Abe, N., Tsuda, H. *Vacuum circuit breaker electrode generating multiple axial magnetic field and its interruption ability.* In: IEEE Trans. Power App. and Syst., 99. 1980, 6, 2079.

[11] Latam, R. *Vakuumnaia izoliaţiia ustanovok visokogo napriajeniia.* Energoatomizdat, Moskva, 1985 (trad. din engl).

[12] Lerondeau, A. *Position du disjoncteur à vide dans l'évolution des techniques de coupure.* In: Bull. sci. Assoc. ing. élec. sortis Inst. élec. Montefiore, 39, 1986, 3, 9.

[13] Raşcu, P. E. *Echipamentele electrice principale şi amplasamentele staţiilor electrice de înaltă tensiune ale centralelor nuclearoelectrice. Situaţia pe plan mondial.* In: Energetica, 35, 1988 nr. 2., p. 62.

[14] Telander, S.H., Wilhelm, M. R., Stump, K. B. *Surge limiters for vacuum circuit breaker switchgear.* In: IEEE Trans. Power Deliv., 2, 1987, 1, 107.

[15] Yanabu, S., Okawa, M., Kaneko, E., Tamagawa, T. *Use of axial magnetic fields to improve high current vacuum interrupters.* Proceedings: XII th. International Symposium on Discharges and Electrical Insulation in Vacuum, New-York 1986, 186.

[16] Yamanaka, T., Takeya, Y., Yorita, M., Horiuchi, T., Inagaki, K., Naya, E., Demizu, M., Okumura, M. *Electrode composition for vacuum switch.* Pat. S.U.A., 4537743, 1985.

(Primit la 23 ianuarie 1989, acceptat la 26 aprilie 1989)

Considerații asupra unor prevederi din standardele revizuite privind protecția împotriva electrocutărilor

Dr. ing. LAURENȚIU GOIA*

Descriptori: protecția împotriva electrocutării, standardizare

CZ: 614.8 :621 :316.992

Lucrarea face o analiză comparativă a prevederilor noilor standarde de electrosecuritate românești cu prescripțiile CEI, scoțind în evidență principalele diferențe care apar între aceste acte normative.

În urma acestei analize se evidențiază unele pericole care pot apărea pentru personalul ce exploatează sau utilizează instalațiile electrice în cazul apariției unor defecte de izolație față de pămînt în rețelele de medie tensiune, în special în cazul instalațiilor de legare la pămînt folosite în comun la medie și joasă tensiune.

Se evidențiază de asemenea faptul că introducerea coeficientului de izolare dat de stratul de beton al stîlpilor este o mărime insuficient fundamentată pentru toate condițiile meteo-climatice care pot apărea în practică.

În baza acestor analize se fac unele propuneri menite să contribuie la o mai bună corelare a standardelor românești cu prevederile normelor internaționale și la o creștere a gradului de securitate în instalațiile de legare la pămînt de toate categoriile.

Principalele modalități prin care s-ar putea asigura deziderate menționate sînt legate de reducerea temporizării protecțiilor de bază pentru a se putea considera rețele cu două sisteme independente de eliminare a defectului, de evitare a utilizării instalațiilor de legare la pămînt comun pentru MT și JT și reconsiderarea valorilor normate pentru rezistențele corpului omenesc în standardele românești.

This report presents a comparative analysis of the provisions of Romanian standards on safety in the field of electricity with the IEC standards, outlining the main differences between these regulations.

As a result of this analysis some dangers which the operation personnel or users of these electric installations are exposed to in case of medium voltage networks insulation faults, mainly with earthing devices used in common for medium as well as low voltage are outlined.

The fact is also pointed out that the use of insulation coefficients provided by the concrete layer of the poles is an insufficiently proved quantity for all meteorological and climatic conditions liable to occur in operation.

Subsequent to this analysis, some proposals are presented meant to contribute to a better correlation between Romanian standards and international regulations as well as to the safety level improvement of all categories of earthing equipment.

Some possibilities to meet the above requirements are connected to the time delay decrease of main protections meant to use networks with two independent fault removal systems, to avoid common earthing installations for medium and low voltage and to the renewal of standardized values or the human body resistance within Romanian standards.

Introducere

În ultima perioadă în România s-a revizuit principalul standard ce reglementează protecția împotriva electrocutărilor prin atingere indirectă în instalațiile electrice [1]. Această acțiune se continuă, astfel încît în anul 1990 să fie încheiată corelarea tuturor standardelor cu cel de bază revizuit, în intenția de a constitui un sistem unitar de prescripții, adaptat cerințelor asigurării unui grad corespunzător de securitate, în instalațiile de toate tensiunile.

Noile reglementări aveau intenția de a se alinia la prevederile CEI (dintre care cea mai importantă este [2]), dar acest deziderat nu a fost atins din cauze multiple, care vor fi prezentate în cele ce urmează, împreună cu cîteva opinii privind modul cum ar putea fi îmbunătățite standardele revizuite și asigurată alinierea acestora la prevederile CEI [2].

1. Prevederile normelor CEI [2]

Ultimele cercetări desfășurate în „Grupul de lucru nr. 4" al Comitetului de studii G4. „Instalații electrice în construcții" al CEI au permis elaborarea unor variante succesive ale documentului 479 *„Efectele curentului electric care trece prin corpul omenesc"*, publicat pentru prima oară în 1970 [3].

Cea mai nouă redactare a documentului respectiv, tipărită în două volume și 6 capitole, a apărut în 1984 (cap. 1—3) și 1986 (cap. 4—6) și conține următoarele prevederi, fondate pe o bogată experiență internațională și pe un număr mare de probe, efectuate pe subiecți diferiți:

Vol. 1 479—1
- Cap. 1. *Impedanța electrică a corpului omenesc.*
- Cap. 2. *Efectele curentului alternativ de frecvență cuprinsă între 15 și 100 Hz.*
- Cap. 3. *Efectele curentului continuu.*

Vol.2 479—2
- Cap. 4. *Efectele curentului alternativ cu frecvența superioară a* 100Hz.
- Cap. 5. *Efectele curenților cu forme de undă speciale.*
- Cap. 6. *Efectele curentului de impuls de scurtă durată.*

Principalele lucrări elaborate în domeniul efectului curentului electric asupra corpului omenesc aparțin lui Koeppen și Tolazzi din R.F.G., Dalziel (S.U.A.), Sandell (Franța),

* Dr. ing. Laurențiu Goia — Institutul de Cercetări și Modernizări Energetice, București.

Nestor (S.U.A.). Ele au fost utilizate la elaborarea primelor variante ale publicației (1970—1971) [3].

Varianta cea mai recentă, din 1984—86, a publicației 479 se bazează pe lucrările lui G. Biegelmeier (Austria), Kupfer (R.D.G.), O'Keefe (Australia), Bridges (S.U.A.) [4]. Pe baza lor s-au stabilit limitele de curent-timp în cadrul cărora nu se produce fibrilația inimii, precum și valorile impedanței electrice a corpului omenesc pentru persoanele vii la valori ale tensiunii aplicate pînă la tensiuni de 5000 V.

Curbele de fibrilație din publicația CEI 479—1—84 [2] se prezintă în figura 1. Valorile impedanței corpului (care are un caracter în principiu rezistiv) pînă la valori ale tensiunii de 700 V se prezintă în figura 2, ca valori statistice, care nu sînt depășite pentru 5%, 50%, respectiv 95% din persoanele supuse testelor. Curbele din figura 2 corespund unui traseu mînă-mînă sau mînă-picior și unor suprafețe de contact mari (80—100 cm^2) și la tensiuni de ordinul kilovolților tind spre valorile asimptotice de 650 Ω (5%), 750 Ω(50%), respectiv 850 Ω (95%).

Referitor la curbele timp-curent din figura 1 [2] se fac următoarele precizări:

— Curba C_1 corespunde unui risc de fibrilație ventriculară aproximativ nul. În punctul A de pe această curbă este posibilă fibrilația auriculară, nepericuloasă pentru om, cu o probabilitate de 0,14%.

— Curbele C_2, respectiv C_3 corespund unor fibrilații ventriculare probabile la 5%, respectiv la 50% din persoanele supuse curentului.

— Zonele indicate cu cifrele 1, 2, 3, 4 încercuite corespund unor reacții fiziologice notate în figură. Curba punctată notată cu S în figură este cea care determină timpul de întrerupere în funcție de curent, care stabilește

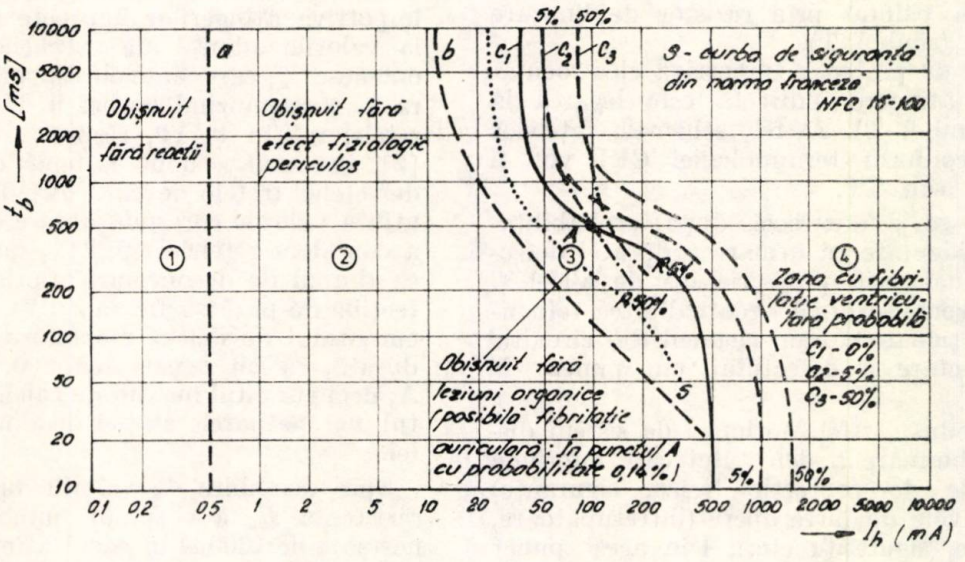


Fig. 1. Curentul admis prin corpul omenesc I_h^a conform CEI [2].

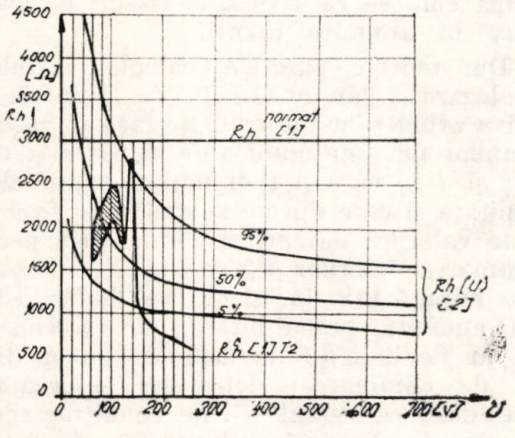


Fig. 2. Variația rezistenței corpului cu tensiunea.

măsurile de protecție împotriva atingerilor indirecte admise în norma franceză [5].

Este evident că în această normă se lasă o rezervă de siguranță față de curba cu risc de fibrilație nul, din [2]. Mai mult, în realitate curba S este o zonă în care se consideră și variația rezistenței corpului cu umiditatea pielii și a amplasamentului obiectului ce poate fi atins.

Elementul fundamental care rezultă din noile prevederi CEI de care nu se ține seama în [1] este faptul că rezistența corpului variază cu tensiunea aplicată. De asemenea, este demnă de reținut și rezerva pe care alte normative din țările industrializate o iau față de curba C_1 în stabilirea măsurilor de protecție împotriva accidentelor electrice.

2. Schemele de protecţie şi sisteme de eliminare a defectului cu punere la pământ

Experienţa de exploatare a reţelelor de distribuţie româneşti a dus la adoptarea următoarei politici privind tratarea neutrului acestor reţele:

— în reţelele de MT (medie tensiune) constituite din cabluri electrice subterane şi în cele mixte cu lungime preponderentă în cablu, neutrul se leagă la pământ prin rezistor de limitare care asigură un curent maxim de defect (de calcul) la simpla punere la pământ de 600 (1000) A;

— în reţelele constituite din linii aeriene se recomandă, de asemenea, tratarea neutrului prin rezistor care asigură un curent maxim de punere simplă la pământ de 300 A. Reţelele de curent capacitiv sub 10 A pot funcţiona în continuare cu neutrul izolat;

— în reţelele de distribuţie, indiferent de modul de tratare a neutrului, fie izolat, fie compensat cu bobină de stingere (simbol I), fie legat la pământ prin rezistor de limitare sau direct (simbol T).

Sistemul de protecţie împotriva electrocutărilor prin atingere indirectă este legarea la pământ (simbol T). Astfel, schemele reţelelor adoptate conform terminologiei CEI vor fi de tip IT sau TT.

Reţelele se diferenţiază după probabilitatea de accidentare ca urmare a duratei defectului eliminat prin protecţie (ca de altfel şi în [2]), precum şi după eventualitatea refuzului de funcţionare a unui element din circuitul de deconectare a defectului cu punere la pământ.

S-a introdus, astfel, noţiunea de sistem distinct de eliminare a defectului care cuprinde dispozitivele de protecţie (relee, siguranţe) şi dispozitivele de întrerupere (întrerupătoare, contactoare, siguranţe etc.). Din acest punct de vedere, sistemele de protecţie pot fi de tip T1 sau T2, primul avînd un singur sistem de eliminare a defectului, iar al doilea, două sisteme distincte de eliminare a defectului (această idee este originală şi apare numai în prevederile româneşti). Două sau mai multe dispozitive de protecţie asociate aceluiaşi întrerupător constituie un singur sistem distinct de eliminare a defectului.

În cazul reţelelor tratate cu rezistenţă de limitare se consideră că există două sisteme distincte de eliminare pentru orice defect cu punere la pământ (T2) prin modul de concepţie al sistemelor de sesizare şi declanşare din staţii. Acest lucru se specifică în mod concret în [1]. Nu este însă exclus ca şi în reţelele izolate faţă de pământ (IT) sau în reţelele cu neutrul legat la pământ direct ($U_N \geqslant 110$ kV, TT1) să se asigure două sisteme distincte de eliminare a defectului (TT2), aşa că nu se consideră justificat ca reţelele TT2 să fie limitate la tensiunea medie şi tratarea prin rezistor de limitare.

Deoarece riscul unui defect cu pământul nedeclanşat prin protecţie este mult mai redus, curenţii admişi prin corp la atingeri indirecte sînt mult mai mari în cazul sistemelor de protecţie T2 decît în cele de tip T1. În majoritatea standardelor străine (şi în ediţiile anterioare ale STAS-urilor româneşti) pentru calculul curentului admis prin corpul omenesc I_h^a şi al tensiunilor de atingere şi de pas U_a^a şi U_{ps}^a, se ia în considerare timpul protecţiei de bază, iar pentru analiza stabilităţii termice a prizelor de pământ din reţea, timpul protecţiei de rezervă ce deconectează elementul cu defect.

3. Valorile curenţilor admişi prin corp I_h^a, ale tensiunilor de atingere U_a^a şi de pas U_{ps}^a admise şi ale rezistenţei corpului iomenesc conform [1]

Pentru calculul instalaţiilor de protecţie împotriva atingerilor indirecte se porneşte de la valorile admise ale curenţilor prin corpul omenesc I_n^a, care sînt cele din tabelul 1 şi figura 1, corespunzînd curbei b din [2], în cazul reţelelor TT1 şi IT, respectiv curbei C1 din [2], în cazul a două sisteme de eliminare a defectelor (reţele de tip TT2). Pentru a putea utiliza valorile corespunzătoare curbei C1, deci a considera reţelele tip TT2, mai este necesar ca timpul de deconectare al oricăreia din protecţiile de bază să fie sub 1,2s şi ca valoarea curentului de defect monofazat, indiferent de durată, să nu depăşească 300, 600 sau 1000 A, deci curentul maxim de calcul pentru defectul net pe barele staţiei de alimentare a reţelei.

Spre deosebire de valorile normate în [2], rezistenţa R_h a corpului omului are valorile normate de 1000 Ω în cazul atingerilor directe, şi 3000 Ω, în cazul atingerilor indirecte. Aceste valori, menţinute din reglementările anterioare (STAS 2612—83, 7334—83 etc.) duc, după cum se va vedea, la riscuri de accidentare în anumite cazuri.

Din motive practice, calculul instalaţiilor de legare la pământ (I.L.P.) de protecţie împotriva atingerilor indirecte se face pe baza tensiunilor maxime admise de atingere şi de pas U_a^a şi U_{ps}^a, care pot fi mai uşor calculate şi limitate şi care din acest motiv au fost preferate valorilor curenţilor admişi prin corp. La normarea valorilor U_a^a şi U_{ps}^a, R_h nu s-a luat cea impusă prin [1] şi nici cea indicată în [2] cu anumită probabilitate, ci s-a considerat că ar depinde de numărul sistemelor distincte de eliminare a defectului — ceea ce nu este deloc adevărat —, de condiţiile specifice în care se găseşte instalaţia şi de faptul că se utilizează mijloace de protecţie izolante de către

Tabelul 1

Curenți admiși I_h^a, tensiuni admise U_a^a și U_{ps}^a și rezistențe de calcul R_h^c pentru zona cu circulație frecventă (CF) la rețele TT1 și TT2

Mărimea \ Timpul [s]	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	1
I_h^a rețea TT2 [mA]	385	265	200	100	50	70	60	50
I_h^a rețea TT1 sau IT [mA]	60	50	35	30	26	24	22	20
U_a^a rețea TT2 CF [V]	250	200	165	150	140	130	125	125
U_a^a rețea TT1 CF [V]	125	100	85	80	75	70	65	65
R_h^c rețea TT2 CF [Ω]	650	750	830	1500	2800	1800	2100	2500
R_h^c rețea TT1 CF [Ω]	325	375	425	800	1500	1000	1100	1300
R_h 50% /2/ [Ω]	1300	1350	1450	1500	1600	1650	1700	1700
R_h 5%/2/ [Ω]	950	1000	1050	1100	1150	1200	1225	1225
I_h pentru 5% persoane [mA]	263	200	157	136	121	108	102	102
I_h pentru 50% persoane [mA]	192	148	113	100	87,5	78,8	73,5	73,5

operatori, ceea ce este în general adevărat. Combinarea criteriilor menționate pentru valoarea R_h constituie inconsecvențe cu urmări în privința nivelului de securitate din rețea.

Valorile $R_h^c(U)$ ale rezistenței corpului, calculată ca raport U_a^a/I_h^a pentru cazul echipamentului din zona cu circulație frecventă fără mijloace de protecție și rețea TT1 și TT2, se prezintă în tabelul 1.

O imagine sugestivă privind variația $R_h^c(U)$ pentru rețeaua TT2 este prezentată în figura 2, comparativ cu valorile date în CEI [2] cu probabilitățile de 5, 50 și 95%. La tensiunile admise U_a^a sub 150 V (deci la timp peste 0,5 s), R_h^c[1] la rețea T2 este mai mare decît cea găsită la 50% din totalul populației, depășind la $U = 140$ V pe cea care corespunde probabilității de 95%.

Pentru situațiile în care în serie cu rezistența R_h mai apar rezistențe suplimentare în circuitul de atingere sau de pas, (rezistența de trecere la tălpile picioarelor, rezistența de trecere la mînă etc.), acestea pot uneori compensa diferența dintre rezistența probabilă după [2] și cea admisă în realitate în [1], astfel că valoarea curentului real prin corp nu depășește valoarea corespunzătoare curbei C1 [2].

Pentru ILP comune de IT și JT (joasă tensiune) sînt multe situații în care nu mai apar rezistențe de trecere înseriate. Acestea apar cu prioritate în cazul utilizării protecției prin legare la nul la abonați, cînd carcasele ce sînt legate la nul se pun sub tensiunea ce apare pe ILP comună cu media tensiune.

În aceste cazuri, curentul real prin corp are valorile indicate în figura 1 cu linii punctate.

La durata de peste 0,4 ... 0,5 s curenții reali prin corp la 5 %, respectiv 50% din persoanele ajunse accidental sub tensiune depășesc riscul de fibrilație ventriculară neglijabil (curba C1), ajungînd în zona curbelor C2 (50% din subiecți), respectiv C3 (5% din subiecți), care reprezintă riscuri de fibrilație inadmisibile (5%, respectiv 50%). Altfel spus, un număr de 5...50% din persoanele supuse tensiunilor accidentale în rețelele de tip TT2, cu ILP comune la JT și MT pot fi periclitate mortal. Această stare de lucruri este după opinia autorului foarte gravă și trebuie schimbată, în scopul evitării pericolelor de accidentare.

Evitarea unor asemenea pericole se poate face în următoarele moduri :

— reglînd protecțiile plecărilor la $t_b \leqslant 0{,}4$ s ;

— separînd ILP de protecție de pe partea de MT de cele de JT la posturile de transformare.

O altă soluție, nefolosită încă în țara noastră din cauza inexistenței utilajelor necesare, ar fi utilizarea protecției de tip PACD la abonații din rețeaua de JT, așa cum se procedează în rețelele de JT din țările în care se utilizează pe o scară largă legarea indirectă la pămînt a neutrului rețelelor de MT la pămînt (Franța, Marea Britanie etc.).

În acest caz, rețele de tip TT2 trebuie considerate numai cele la care protecția de

bază a plecărilor de MT este reglată la temporizări sub 0,4 s.

Autorul consideră că o justificare suplimentară a necesității separării ILP de JT de cele de MT la posturile de transformare din rețelele de tip TT2 este și faptul că, deși redusă, nu este exclusă nici în rețelele aeriene cu neutrul tratat cu rezistență posibilitatea apariției unor duble puneri la pămînt. Un asemenea defect, cu un punct la priza comună, mărește considerabil riscul electrocutărilor în instalațiile ce folosesc legarea la nul ca mijloc principal de protecție la joasă tensiune, în instalații comune de legare la pămînt cu media tensiune (curentul de defect este mai mare și tensiunile pe nul mai ridicate).

3. Protecția împotriva accidentelor la stîlpii LEA

Tensiunile de atingere și de pas admise conform [1] pentru stîlpii din beton cu LEA, fără aparataj, din cadrul rețelelor TT2 cu două sisteme de eliminare a defectelor se prezintă în figura 3 (zona cu circulație frecventă

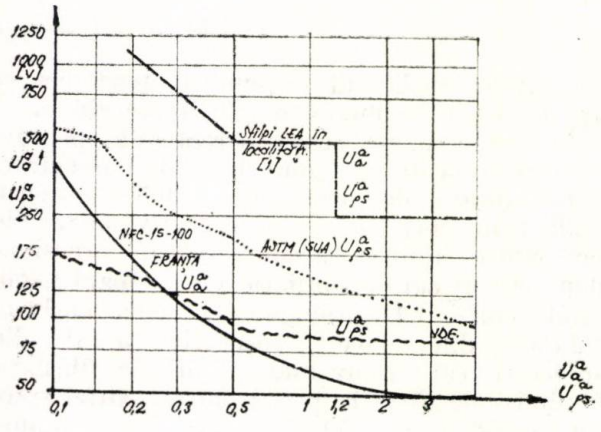


Fig. 3. Valori admise ale tensiunilor U_a^a și U_{ps}^a.

din localități). În aceeași figură sînt indicate și valorile admise pentru tensiunile de pas, conform VDE, ASTM (S.U.A.) și NFC 15—100 (Franța).

La valorile U_a^a și U_{ps}^a se mai aplică majorări prin luarea considerare a izolării amplasamentului (coeficientul α [1]) și al izolării dat de stratul de beton al stîlpului exterior armăturii (β [1]), astfel că valoarea totală a tensiunii de atingere a unui stîlp la care se utilizează izolarea amplasamentului este:

$$U_a^{TOT} = U_a^a \cdot (\alpha + \beta - 1). \qquad (1)$$

Deci, în realitate tensiunile de atingere admise în [1], ținînd seama de izolările menționate (α și β), pentru balast din piatră spartă de 12 cm grosime sînt de patru ori mai mari decît cele din figura 3, respectiv de cinci ori mai mari pentru dale de beton (de șapte ori mai mari la asfalt), ajungînd, pentru $t = 0{,}2$ s, la valori egale cu tensiunile de fază ale rețelelor aeriene de MT.

Aceasta echivalează cu a considera în calcule ca fiind nepericuloasă atingerea conductoarelor de fază ale liniilor de MT dacă se utilizează izolarea amplasamentului și se asigură declanșarea prin protecția rapidă a fazei atinse. Evident, o asemenea opinie nu poate fi considerată corectă. Valorile acestor tensiuni provoacă străpungerea betonului și a pielii, fenomenele decurgînd în continuare cu totul altfel decît este prevăzut în [2].

Faptul că stîlpii de beton pot fi considerați ca elemente nepericuloase din punctul de vedere al atingerilor indirecte în rețelele TT2 și chiar în rețelele TT1 se bazează pe probabilitatea, neglijabilă, a atingerii lor concomitent cu un defect de izolație, dacă acesta este declanșat la temporizări sub 0,2... 0,4 s.

Ținînd seama de faptul că în Franța sau Marea Britanie în rețelele cu neutrul tratat cu rezistență stîlpii de beton și metal ai LEA nu se consideră elemente periculoase, autorul consideră că lipsa de periculozitate a atingerii stîlpilor cu defecte de izolație se datorește nu izolării amplasamentului sau izolației stratului de beton, ci exclusiv probabilității reduse a defectului izolației la stîlp (declanșat în 0,2...0,4 s) concomitent cu atingerea sa de către o persoană.

Punerea problemei în acest mod este mai corectă și nu caută escamotarea pericolului în spatele unor relații de calcul bazate pe coeficienții α și β, care nu au acoperire prin măsurări statistice în condiții meteorologice variabile: ploaie, umiditate, ceață de durată. (Trebuie reținut că tocmai în aceste condiții, cînd α și β au valori reduse, probabilitatea de defect crește).

În consecință, pentru stîlpii LEA fără aparataj din rețele TT2 este suficient să se asigure rezistențe de dispersie care să permită declanșarea în timp rapid (0,2... 0,4 s) fără a se norma valori admise pentru tensiuni de atingere și de pas cu introducerea coeficienților de izolare a amplasamentului α, sau a stratului de beton β. Aceasta mai cu seamă că armătura stîlpilor din beton armat poate fi accesibilă direct (la urechile de ridicare ale stîlpului sau la deteriorări cauzate de transportul acestora), iar după o perioadă de exploatare de ordinul un an, coeficienții de izolare dați de balast sau de dalele de beton devin neglijabili prin acoperirea acestor elemente cu praf, pămînt și noroi.

Stîlpii (cu sau fără aparataj) din incinte industriale sau agricole cu circulație frecventă,

precum și cei de pe plaje sau terenuri de camping trebuie tratați cu mai multă exigență, tensiunile de atingere și de pas admise pentru aceștia fiind 125 V, în cazul rețelelor I, și 250 V, în cazul rețelelor T1 sau T2. În afara acestor zone la stîlpii cu aparataj din rețelele T2 se poate admite o tensiune de atingere de 500 V, deoarece personalul care îi exploatează este echipat cu mijloace de protecție izolante. Evident și pentru această majorare este necesar ca timpul protecției de bază să fie sub 0,4 s.

Aceste prevederi ar conduce la simplificarea importantă a standardelor românești de protecție și mai ales la ușurarea aplicării în practică a prevederilor acestora.

Reducerea costului instalațiilor de legare la pămînt la stîlpii LEA prin măsurile precizate ar compensa pe deplin creșterea costului prizelor de pămînt separate pe partea de MT la posturile de transformare.

Pericolele de accidentare ar fi pe total rețea MT și JT diminuate. În acest sens este util să amintim că pînă în prezent nu s-au petrecut accidente prin electrocutare la stîlpii de beton în rețele IT sau TT1, dar au fost cazuri de accidente colective prin pătrunderea tensiunii medii în rețeaua de joasă tensiune prin priza comună.

Acesta este un argument în plus în favoarea separării prizei nulului de JT de cea a părții de MT a PT.

Concluzii

Analiza efectuată permite conturarea următoarelor concluzii principale :

— pentru alinierea standardelor noastre de protecție împotriva electrocutărilor la reglementările CEI și pentru diminuarea riscurilor de accidentare în instalații se justifică renunțarea la normarea în [1] a valorilor pentru rezistențele corpului la valori constante de 1000 și 3000 Ω ;

— rețelele cu două sisteme distincte de eliminare a defectului T2 trebuie considerate numai acelea la care timpul protecției de bază este de maximum 0,4 s ;

— nu trebuie generalizată folosirea prizei comune „PT-NUL" la posturile de transformare aeriene din rețelele cu neutrul tratat prin rezistență, la care în rețeaua de JT se utilizează protecția prin legare la nul ;

— prin simplificarea prevederilor normelor și ușurarea aplicării lor, trebuie acceptat că stîlpii fără aparataj cu prize, ce asigură declanșarea defectelor de izolație la timp sub 0,4 s sînt elemente nepericuloase*). În acest caz, toate calculele care implică introducerea coeficienților de izolare α, β etc. se simplifică mult și standardele se aplică mai ușor ;

— în modul în care sînt actualmente stipulate unele prevederi din standardele privind protecția împotriva accidentelor electrice nu se realizează deziderатul alinierii la prevederile prescripțiilor CEI în acest domeniu ;

— aplicarea lor în actuala redactare nu exclude pericolele de accidente pentru persoanele care vin în contact cu echipamentele ce utilizează protecția prin legare la nul în cazul ILP comune pentru MT și JT.

Bibliografie

[1] * * * STAS 2612—87. *Protecția împotriva electrocutărilor. Limite admise.*

[2] CEI — 479 — 1. *Effets du courant passant par le corps humain.* CEI — 1984.

[3] Deloux, G. *Introduction. Role du Groupe de travail no 4 du Comité d'etudes no 64 de la CEI.* In : RGE, 1985, nr. 11, p. 803—809.

[4] Biegelmeier, E. *L'impedance electrique du corps humain.* În : RGE, 1985, nr. 11, p. 817—832.

[5] * * * NF C — 15—100. *Installations electriques a basse tensuion. Rêles.* Editée par l'Union technique de l'Electricité

)Primit la 14 martie 1989, acceptat la 26 aprilie 1989)

* Cu excepția celor de pe plaje, din terenuri de camping, incinte industriale și agricole cu circulație frecventă sau a celor cu aparataj, indiferent de zona de circulație.

Model matematic și program de calcul pentru determinarea variantei optime de dezvoltare a unei rețele de termoficare existente

Dr. ing. RADU POPA, conf. dr. ing. VICTOR ATHANASOVICI*

Descriptori : rețele de termoficare, optimizare, modele matematice, programe de calcul

CZ : 697.34 :539.17

Lucrarea prezintă un model matematic cu programul de calcul aferent, pentru determinarea variantei optime de dezvoltare a unei rețele de termoficare existentă, de apă fierbinte. Varianta optimă rezultă aplicînd criteriul tehnico-economic al cheltuielilor totale actualizate.

Scopul calculului este determinarea valorilor optime ale diametrelor și pierderilor de presiune aferente, pentru diversele tronsoane ale unei rețele care se extinde, simultan cu stabilirea noii valori a înălțimii de refulare pentru pompele de rețea și obținerea noului grafic piezometric al ansamblului rețelei.

The paper introduces a mathematical model with its computer programme for the optimum development trend of an existing district heating grid. The optimum variant results by applying the technical economic criterion of total updated expenses.

The programme intends to determine optimum values of diameters and pressure losses for different sections of an extending grid, simultaneously with the determination of the grid pumps optimum head pressure : a new piezometric diagram can be obtained thus for the entire grid

Mathematical Model and Computer Programme for the Optimum Development Variant of an Existing District Heating System

(Condensed from the paper in Romanian)

The basic elements of a mathematical model intending to determine the optimum development variant of an existing hot water district heating grid as well as some information referring to the computer programme are presented.

The mathematical optimisation model consists of a dynamic programming algorithm solved in regressive scheme. The model's target function *(the technical economic* dimensioning criterion*)* is represented by decreasing to a minimum the annual computation expenses specifying the conditions under which this criterion offers the same solutions hierarchy as well as the criterion of total updated expenses. The duct diameter has been admitted as a decision variable, while the state variable considered in the model was the piezometric load at the upstream/downstream ends of the duct. The stage variables are represented by the grid ducts, delimitated through internal junctions and/or end nodes (thermal sub-stations). The optimisation problem restrictions refer to the admissible variation fields for the state and decision variable. The discrete manner of the problem is considered so that the optimum solution contains standard diameters values chosen from a possible values set specified by the user.

The model is meant for tree-shaped district heating grids. Other simplifying hypotheses were used in the paper only for a simplified presentaton and comprehension of the algorithm. The dynamic programming method is general enough to enable to give up such hypotheses and construct some complex models for solving practical cases at an industrial scale.

The optimum solution includes the diameters of the grid ducts, as well as the load value at the source — provided by the grid pump — for which the annual computation expenses are at a minimum. At the same time the piezometric graph corresponding to the calculated flows regime in the entire system is obtained.

The computer programme can be used to determine the optimum extension variant as well as for the optimum redimensioning of the whole grid (the original one + the extension).

If one disposes of a series of possible extension diagrams the most profitable one, with the diameters of new ducts and the suitable value of the load at the source can be obtained by running the programme for every diagram as such and by comparing the results obtained for the target function.

The mathematical model is demonstrated by presenting results of a numeric application. The necessary input/output data amount as well as the computer programme amplitude prevent from more detailed description within the limited space of this paper.

Prezentare generală

Lucrarea prezintă un model matematic cu programul de calcul aferent, pentru determinarea variantei optime de dezvoltare a unei rețele de termoficare de apă fierbinte existentă.

Determinarea variantei optime de dezvoltare a rețelei existente se face pe baza calculului tehnico-economic, aplicînd criteriul cheltuielilor totale actualizate sub forma sa simplificată.

* Dr. ing. Radu Popa, conf. dr. ing. Victor Athanasovici — Facultatea de Electrotehnică și Energetică, Institutul Politehnic, București.

Scopul calculului este determinarea valorilor optime ale diametrelor și pierderilor de presiune aferente, pentru diversele tronsoane ale unei rețele care se extinde, simultan cu stabilirea noii valori a înălțimii de refulare pentru pompele de rețea ale sursei de căldură.

Practic, odată cu dimensionarea rețelei care se extinde, se obține și noul grafic al ansamblului rețelei.

1. Ipoteze

La stabilirea modelului matematic s-au avut în vedere următoarele ipoteze, în baza cărora el este aplicabil :

— sistemul de termoficare este bitubular închis ;

— rețeaua este de tip arborescent, alimentată cu căldură dintr-o singură sursă ;

— graficul piezometric este simetric, deci diametrul nominal al aceluiași tronson de rețea pe ducere și respectiv pe întoarcere este identic ;

— sistemul nu are stații intermediare de pompare și nici organe de reglare a parametrilor hidraulici ;

— se consideră regimul hidraulic permanent ;

— valorile nominale ale diametrelor corespund STAS ;

— conducta dintre două noduri consecutive de rețea are sau va fi dimensionată cu același diametru pe toată lungimea ei.

2. Date inițiale necesare

Pentru aplicarea modelului este necesară cunoașterea și fixarea următoarelor elemente ;

— configurația rețelei existente și a celei care se extinde (pentru aceasta din urmă, cu variantele posibile) ;

— diametrele și lungimile tronsoanelor rețelei existente ;

— valorile de calcul ale debitelor de agent termic aferente tuturor punctelor termice (existente și noi), luîndu-se în considerare coeficienții de simultaneitate corespunzători ;

— disponibilul de presiune necesar fiecărui punct termic existent sau nou ;

— suplimentul de presiune existent într-un nod al rețelei (sau punct termic) este „distrus" prin laminare ;

— punctul (punctele) unde se racordează noua rețea la aceea existentă ;

— domeniul rațional de variație posibilă a sarcinii hidraulice pentru sursă și toate punctele termice (existente sau noi).

3. Etape principale pentru aplicarea modelului

O primă etapă o constituie stabilirea variantelor posibile de extindere a rețelei. Aceasta presupune că proiectantul și-a determinat modalitățile tehnic-posibile de extindere cu sau fără modificarea rețelei existente și punctul efectiv de racordare a noii rețele la cea existentă.

Din acest ultim punct de vedere, există două posibilități de interconectare :

1) dintr-un nod existent, ca în figura 1 *a* ;

2) dintr-un punct B al unui tronson de rețea existentă, ca în figura 1 *b*.

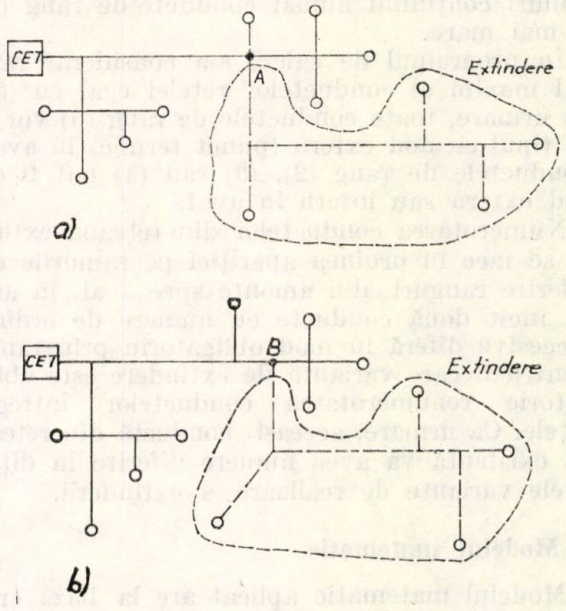


Fig. 1. Variante de interconectare a extinderii unei rețele existente : a — într-un nod (A) existent ; b — într-un punct (B) pe traseul rețelei existente ; ———extinderea.

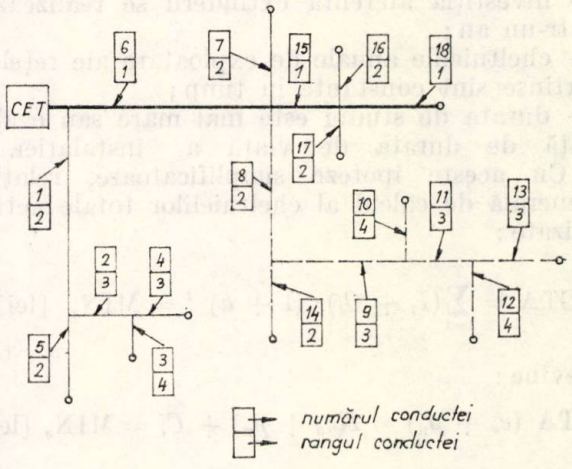


Fig. 2. Stabilirea rangului conductelor și numerotarea lor — exemplu.

A doua etapă pregătitoare constă în stabilirea „rangului" fiecărui tronson al rețelei existente și numerotarea acestuia în ordinea dorită, menținută aceeași pentru tot sistemul.

În figura 2 se dă un exemplu de rezolvare a acestei etape, pentru cazul extinderii din varianta prezentată în figura 1 *a*.

Ierarhizarea pe ranguri a conductelor rețelei existente are următorul principiu: conductele de rang (1) sînt cele ce unesc sursa cu unul din consumatori. Legătura oricărui alt consumator cu o conductă de rang (1) se face prin una sau mai multe conducte de ranguri superioare. În orice nod intern plasat pe o conductă de rang (1) pot face joncțiunea cel mult două conducte de rang (2) și o altă conductă de rang (1). Conductele de rang (2) constituie baza unor ramuri conținînd numai conducte de rang (2) și mai mare.

În programul de calcul s-a considerat rangul maxim al conductelor rețelei egal cu (5). Ca urmare, toate conductele de rang (5) vor fi de tipul cu nod extern (punct termic) în aval. Conductele de rang (2), (3) sau (4) pot fi cu nod extern sau intern în aval.

Numerotarea conductelor din rețeaua extinsă se face în ordinea apariției pe ramurile de diferite ranguri, din amonte spre aval, în așa fel încît două conducte cu numere de ordine succesive diferă în mod obligatoriu prin rang. Pentru fiecare variantă de extindere este obligatorie renumerotarea conductelor întregii rețele. Ca urmare, aceeași conductă din rețeaua existentă va avea numere diferite în diferitele variante de realizare a extinderii.

4. Modelul matematic

Modelul matematic aplicat are la bază criteriul cheltuielilor totale actualizate minime (CTA = MINIME) în forma lor simplificată, care corespunde următoarelor ipoteze:

— investiția aferentă extinderii se realizează într-un an;

— cheltuielile anuale de exploatare ale rețelei extinse sînt constante în timp;

— durata de studiu este mai mare sau egală față de durata de viață a instalației.

Cu aceste ipoteze simplificatoare, relația generală de calcul al cheltuielilor totale actualizate:

$$\text{CTA} = \sum_{t=1}^{T} (I_t + C_t) \cdot (1 + a)^{-t} = \text{MIN}, \quad [\text{lei}] \tag{1}$$

devine:

$$\text{CTA}\ (c_a + p_n) = I(c_a + p_n) + C_t = \text{MIN}, \quad [\text{lei}] \tag{2}$$

în care: I_t este investiția din anul „t", în lei;

C_t — cheltuielile de exploatare în anul „t" exclusiv cele cu amortizările, în lei/an;

T — durata de studiu, în ani;

$a = p_n$ — coeficientul normat de eficiență economică a investițiilor, în an^{-1};

c_a — cota de amortizare, în an^{-1}.

Relația (2) se mai poate scrie sub forma:

$$CTA(c_a + p_n) = I \cdot p_n + C = \text{MIN}, \quad [\text{lei}], \tag{3}$$

unde:

$$C = C_t + C_{am}, \quad \text{lei/an}] \tag{4}$$

în care:

$$C_{am} = I \cdot c_a \quad [\text{lei/an}], \tag{5}$$

unde: C_{am} sînt cheltuielile anuale cu amortismentele.

Dacă se compară relația (3) cu relația generală a cheltuielilor anuale de calcul:

$$Z = I \cdot p_n + C = \text{MIN} \quad [\text{lei/an}] \tag{6}$$

se vede că minimul celor două expresii, în funcție de variabila (x), este îndeplinit pentru aceeași valoare a lui x:

$$\frac{\partial Z(x)}{\partial(x)} = \frac{\partial[\text{CTA}(x) \cdot (c_a + p_n)]}{\partial x} =$$

$$= (c_a + p_n) \cdot \frac{\partial CTA(x)}{\partial x}, \tag{7}$$

în care c_a și p_n sînt constante și diferite de zero.

Din relația (7) rezultă că atît $Z(x)$, cît și CTA (x) vor avea valorile minime pentru același (x), deoarece:

$$\frac{\partial Z(x)}{\partial x} = \frac{\partial CTA(x)}{\partial x} = 0. \tag{8}$$

Ca urmare, valoarea optimă a lui (x) se poate determina punînd condiția simplificată: $Z(x) = \text{MIN}$.

Ținînd seama de aceste considerente, funcția $Z(x)$ are forma generală:

$$Z = C_e + C_Q + I_r(c_a + p_n + k_r) + I_{sp}(c_a + p_n + k_{sp}) + p_n I_{ech}, \tag{9}$$

în care:

C_e sînt cheltuielile anuale cu energia de pompare a agentului termic, în lei/an;

C_Q — costul pierderilor de căldură din rețea, în lei/an;

I_r — investiția în rețea, în lei;

I_{sp} — investiția în stația de pompare de la sursă, în lei;

I_{ech} — investițiile de echivalare, în lei;

k_r, k_{sp} — cota parte aferentă cheltuielilor anuale de exploatare și întreținere curentă a rețelei, respectiv a stației de pompare.

Cheltuielile anuale de calcul pentru sistemul de termoficare se pot exprima ca sumă a cheltuielilor anuale de calcul pentru fiecare k din

conductele rețelei, plus cheltuielile anuale de calcul la sursă :

$$Z = \sum_{k=1}^{K} Z_i^r[H(k), \mathrm{d}(k), k] + Z_i^{\mathrm{CET}}\ (H(1)), \quad (10)$$

unde :

K este numărul conductelor din rețea ;

$Z_i^r\ [H(k), \mathrm{d}(k), k]$ — cheltuielile anuale de calcul pentru conducta k (care sînt funcție de sarcina hidraulică din amontele conductei, $H(k)$ și de diametrul ei $d(k)$;

Z_i^{CET} — cheltuielile anuale de calcul la sursă, funcție de sarcina hidraulică la ieșirea din CET (amontele primei conducte din rețea).

Pentru o conductă internă (fără punct termic în extremitatea aval), relația explicită a termenului Z_i^r are forma :

$$Z_i^{r(1)} = [H(k), \mathrm{d}(k), k] = L(k) \cdot \left\{ \beta_1 \cdot \delta(k) \cdot \frac{1}{[d(k)]^{5,25}} + \beta_2 \cdot \Delta q^*(d(k)) + \beta_3 \cdot c(d(k)) \right\} \quad (11)$$

iar pentru o conductă extremitate de ramură (cu punct termic în aval) relația este :

$$Z^{r(2)} = [H(k), \mathrm{d}(k), k] = \beta_4 \cdot Q(k) \cdot [H(k) - \rho(k)] + L(k) \cdot [\beta_2 \cdot \Delta q^*(d(k)) + \beta_3 \cdot c(d(k))], \quad (12)$$

în care :

$$\rho(k) = H_{med} + \frac{\Delta p(k)}{2}, \quad (13)$$

$$\left.\begin{aligned} \beta_1 &= \frac{1,05}{10^{10}} \cdot \beta_4\ ;\ \beta_2 = c_c \cdot \tau\ ; \\ \beta_3 &= a + p_n + k_r\ ; \\ \beta_4 &= \frac{9,81}{3600} \cdot \frac{c_c \cdot \tau}{\eta_i} \quad \text{și} \\ \delta(k) &= (Q(k))^3 \cdot (1 + \alpha(k)) \end{aligned}\right\} \quad (14)$$

S-au folosit notațiile :

Δq^* — pierderea normală de căldură, în kcal/m.h, funcție de diametrul conductei, tipul construcției și temperatura agentului de lucru ;

c_c — costul specific al producerii căldurii, în lei/kcal ;

τ — durata anuală de utilizare la regimul de calcul, în h/an ;

c_e — costul specific al producerii energiei electrice în sistemul energetic național, în lei/kWh ;

η — randamentul mediu al pompelor de circulație ;

c — costul specific, pe metru liniar de conductă (în lei/an) în funcție de diametrul conductei, tipul constructiv, tipul izolației etc.;

Q — debitul de agent vehiculat pe conductă în regimul de calcul, în t/1 ;

L — lungimea conuctei, în m ;

α — gradul de încărcare cu pierderi locale de sarcină ;

Δp — disponibilul de presiune necesar în punctul termic din avalul conductei ;

H_{med} — sarcina medie în raport cu care se admite simetria graficului piezometric al rețelei pentru circuitul de tur și retur, în m.

Cheltuielile anuale de calcul pentru sursă au forma :

$$Z_i^{CET}(H(1)) = \beta_5 \cdot Q_{CET}[H(1) - \underline{H}_{CET}], \quad (15)$$

unde :

$$\beta_5 = \frac{9,81}{3600} \cdot \frac{1}{\eta} [(c_a + p_n + k_{sp})(1 + r) \cdot i_{sp} + p_n \cdot i_{sist}], \quad (16)$$

în care : Q_{CET} este debitul de agent termic vehiculat prin CET, în t/h ;

$\underline{H}_{CET}$ — sarcina hidraulică minimă la sursă, din domeniul admisibil de valori ;

r — coeficientul de rezervă a puterii instalate în stația de pompare a sursei ;

i_{sp}, i_{sist} — investiția specifică în stația de pompare, respectiv în sistemul energetic, în lei/kW.

Funcția obiectiv a problemei de dezvoltare optimă a sistemului s-a luat minimizarea cheltuielilor anuale de calcul, respectiv

$$\min\ \{Z\},$$

unde :

Z are forma (10), cu termenii explicitați prin relațiile (11) la (16), în raport cu variabila de stare H și variabila de decizie d. Admițînd ca

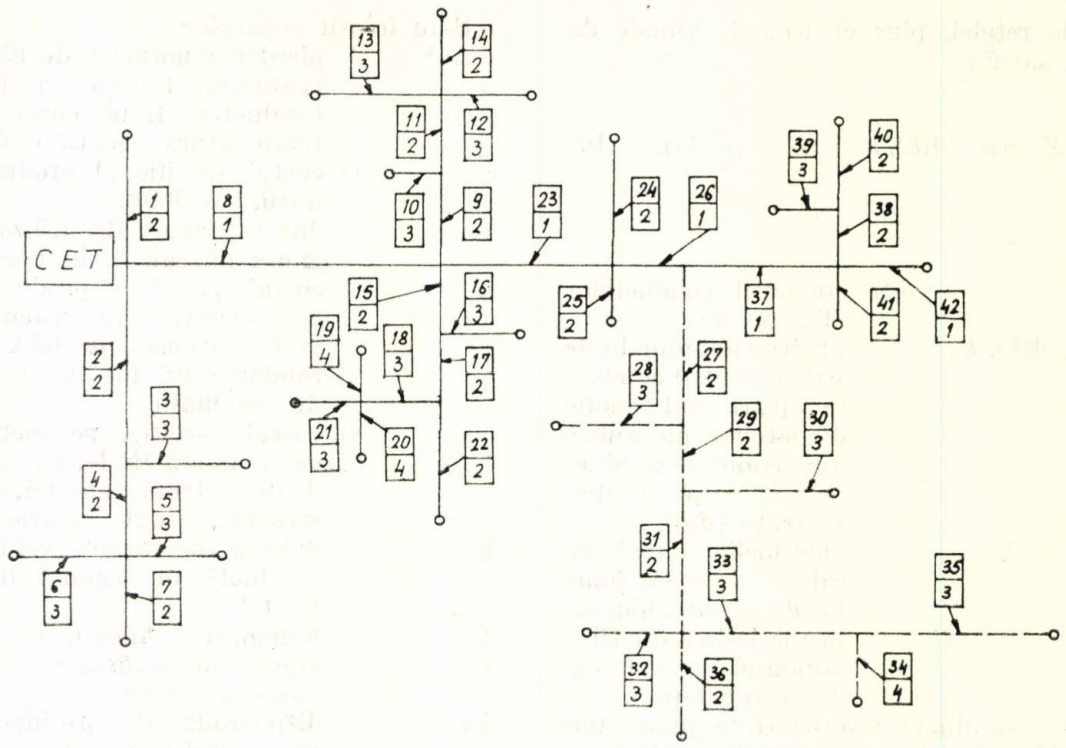


Fig. 3. Schema reţelei propusă pentru exemplul de calcul, cu ierarhizarea rangului şi numerotarea conductelor.

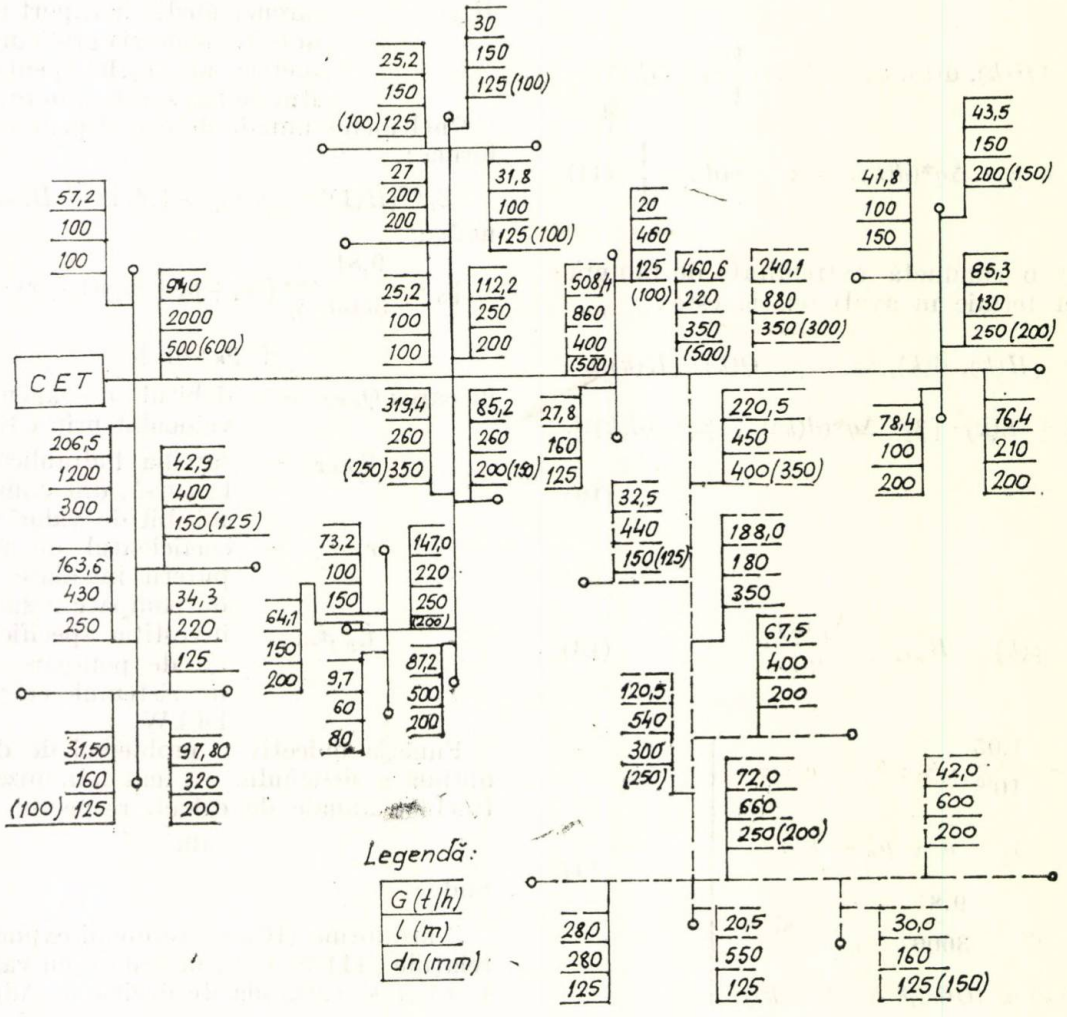


Fig. 4. Rezultatele calculului de dimensionare optimă în condiţiile extinderii reţelei existente (în paranteze valorile pentru situaţia dimensionării optime iniţiale a întregii reţele, acolo unde ele diferă de cele determinate anterior).

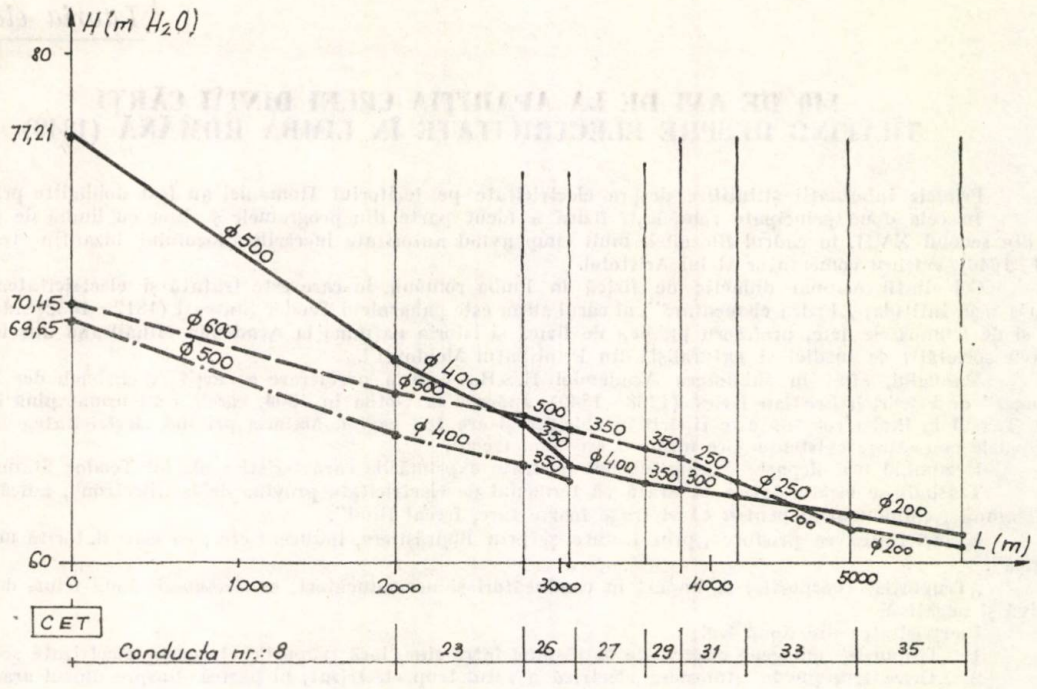


Fig. 5. Graficul piezometric al conductei de ducere pentru : —.— reţeaua iniţială ; ——— reţeaua cu extindere optimă ; — — — reţeaua extinsă dimensionată optim iniţial.

variabile de etapă conductele ce alcătuiesc reţeaua, se aunge la un model matematic de programare dinamică. Analiza în schema regresivă furnizează variaţia funcţiei de performanţă pe tot domeniul posibil de presiuni la sursă, ceea ce permite să se depisteze valoarea ei optimă. În continuare, pe baza deciziilor optime memorate pentru toate stările discrete admisibile şi toate etapele sistemului, se determină, progresiv, şirul de diametre care asigură realizarea minimului funcţiei obiectiv.

Programul de calcul a fost conceput astfel încît să ofere utilizatorului cît mai multe facilităţi. Spre exemplu, el poate fi folosit atît pentru extinderea optimă a unei reţele existente, cît şi pentru dimensionarea optimă a unui nou sistem. Introducerea datelor de intrare este foarte comodă, adaptată opţional regimului de lucru automat sau convenţional. În această ultimă variantă, numeroase mesaje permit modificarea configuraţiei analizate, schimbarea domeniilor admisibile sau a altor date de intrare etc., pentru obţinerea unei soluţii cît mai avantajoase din toate punctele de vedere.

EXEMPLU DE CALCUL

Pentru ilustrare, s-a presupus o reţea de forma din figura 3. Datele esenţiale referitoare la reţeaua existentă şi cele rezultate în urma calculelor de optimizare pentru reţeaua extinsă sînt prezentate în figura 4. Domeniul admisibil de variaţie pentru sarcina hidraulică pe conducta de tur s-a considerat 60,5—80 mH_2O.

În urma calculelor de optimizare a extinderii pe traseul format din conductele 8, 23, 26, 27, 29, 31, 33 şi 35 a rezultat graficul piezometric pe tur prezentat în figura 5. Se constată că, în urma extinderii, sarcina optimă pe tur la ieşirea din CET a crescut de la 69,65 mH_2O la 77,21 mH_2O, iar valoarea funcţiei de performanţă de la $0{,}293 \cdot 10^7$ la $0{,}4186 \cdot 10^7$ (cu circa 43%).

Pentru a pune în evidenţă diferenţele datorate extinderii optime a reţelei existente, faţă de situaţia în care s-ar fi dimensionat optim de la început întreaga reţea (iniţială + extindere), s-a utilizat acelaşi program de calcul. În condiţiile de redimensionare completă, a rezultat că sarcina optimă la ieşire din CET este de 70,45 mH_2O, pentru o valoare optimă a funcţiei de performanţă de $0{,}3964 \cdot 10^7$, iar graficul piezometric pe traseul menţionat ar fi cel reprezentat cu linie întreruptă pe figura 5, pentru diametrele optime indicate.

Se constată că valoarea optimă a funcţiei de performanţă la redimensionare este mai scăzută decît la extindere, ceea ce era de altfel, previzibil. Conductele deja existente (cu diametre precizate) creează restricţii în găsirea unei soluţii optime satisfăcătoare. În consecinţă, soluţia optimă de extindere a unei reţele va conduce la o rezolvare mai costisitoare (în cazul de faţă cu circa 5%) faţă de situaţia dimensionării optime, de la început, a întregului sistem.

(Primit la 20 decembrie 1988, acceptat la 15 februarie 1989)

140 DE ANI DE LA APARIȚIA CELEI DINTÎI CĂRȚI TRATÎND DESPRE ELECTRICITATE ÎN LIMBA ROMÂNĂ (1849)

Primele informații științifice despre electricitate pe teritoriul României au fost dobîndite prin învățămînt. În cele două principate românești fizica a făcut parte din programele școlilor cu limbă de predare greacă încă din secolul XVII, în cadrul filozofiei, mult timp avînd autoritate lucrările filozofului bizantin Teofil Coridaleu (1563—1646), celebru comentator al lui Aristotel.

Cel dintîi manual didactic de fizică în limba română, în care este tratată și electricitatea, a apărut în 1849, la Iași, intitulat ,,Fizica elementară", al cărui autor este paharnicul Teodor Stamati (1812—1852) ,.doctoru de filosofie și de frumoasele arte, profesoru publicu de fizică și istoria natiunei la Academia Mihăileană din Iași, mădulariu efectivu societății de medici și naturaliști din Prințipatul Moldovei".

Manualul, aflat în Biblioteca Academiei R.S.R., este o prelucrare a cărții ,,Lehrbuch der Naturlehre für Anfanger" de Friedrich Cristian Kries (1768—1849), apărută la Gotha în 1804, căreia i-au urmat pînă în 1844 încă 7 ediții. Textul în limba română este tipărit în chirilice și are 188 pagini. Materia privind electricitatea este limitată la principalele cunoștințe existente spre mijlocul secolului trecut.

Rezumînd mai departe conținutul sînt păstrate exprimările caracteristice ale lui Teodor Stamati.

Tratîndu-se electrostatica se arată că termenul de electricitate provine de la ,,ilectron", adică, ,,trăgătoriu" ce înseamnă ,,chihlimbariul pentru că el trage foarte tare, frecat fiind".

Electricitatea se produce ,,prin frecare și prin împrăștiere, inducere etc.; ea este datorită materiei numită electrică".

,,Trupurile" (corpurile) se împart în conducători și neconducători; se deosebesc două feluri de electrictate: pozitivă și negativă.

Electricitatea are două legi:

1. ,,Trupurile" omogene electrizate se răsping între sine, iară trupurile eterogene electrizate se atrag.
2. ,,Orice trup pus în atmosfera electrică a altui trup electrizat, în partea dinspre dînsul arată electricitate opusă".

Sînt descrise: mașina electrostatică, electroscopul, electrometrul, ,,butelia lui Leidner"*, electroforul și condensatorul.

Din electrocinetică sînt descrise: elementele voltaice, descoperirea lui Oersted, peștii electrici etc.

În general de electricitate ,,atîrnă multe fenomene naturale".

Magnetismul începe prin expunerea producerii fenomenului: ,,Între escurile** feroase se găsesc bucăți ce au însușirea de a trage la sine ferul. Acestea se numesc magnete naturale, magnete firești, feromagnete".

,,Puterea magnetică se poate împărtăși fierului și oțelului obținîndu-se magnete maestrite". Se definesc polii și zona neutră.

Legea principală a magnetismului este: ,,polii eterogeni se răsping între sine iară cei omogeni se atrag între sine".

Acele sau acurile magnetice se orientează după meridianele magnetice; dreapta care unește polii magnetici ai pămîntului se numește ,,osia magnetică".

Sînt descrise busola, abaterea magnetică, adică ,,declinăciunea magnetică și plecarea numită înclinăciunea magnetică".

Se expun teoriile magnetice ale lui Aepinus și Ampère. După acesta din urmă ,,care se ține tare" nu există o deosebită materie magnetică ,,ce tot aceleași materii sau tot aceleași puteri, de care atîrnă fenomenele electrice, produc și pe cele magnetice".

Sînt expuse ca noi descoperiri legile lui Ampère, producerea de scîntei electrice cu ajutorul magneților de către Faraday și termoelectricitatea descoperită de Seebeck.

Dintre aparate sînt descrise: galvanometrul și multiplicatorul electromagnetic al lui Poggendorff.

Înființarea Universităților din București și Iași a condus la dezvoltarea predării fizicii la nivel superior.

Un rol deosebit în ceea ce privește electricitatea l-a avut primul profesor de fizică al Universității din București, Emanuel Bacaloglu (1830—1891). A făcut studii de matematică, științele naturii și chimie la Leipzig și Paris, publicînd în acea perioadă mai multe lucrări în reviste străine cu renume. Întors în țară a fost profesor la școli de nivel mediu, iar din 1864 profesor de fizică al Universității din București, înființată în acel an; în 1879 a fost ales membru al Academiei Române. A avut un rol deosebit în promovarea unei mișcări științifice în țară și a participat la constituirea Societății Române de Științe, a Societății de Științe Fizico-Chimice și a Societății Ateneului Român. Activitatea sa științifică s-a concretizat în numeroase lucrări publicate în periodice de specialitate străine (în principal lucrări de matematică, unele de fizică și cîteva de chimie). Asupra acestora făcea comunicări pentru informare de specialitate sau mai largă. Dintre acestea sînt de menționat: ,,Dezvoltarea progresivă a luminatului electric", comunicare expusă în ședința Academiei din 13 martie 1881 și dări de seamă asupra expozițiilor de electricitate de la München (1882) și Viena (1883).

Pentru cerințele didactice a tipărit: ,,Elemente de fizică. Pentru usul școlilor secundare și superioare și pentru studiu particular. Suplementu — Luminatu Electric Spectroscopia" 3 volume 1870—1883. A doua ediție a apărut în 1888.

Dar Bacaloglu nu s-a limitat la expuneri, ci a fost și un realizator, executînd în anul 1882 o minicentrală electrică în laboratorul său, ceea ce este un eveniment deosebit, atît din punct de vedere didactic, cît și practic; de asemenea a fost consultat la luarea de decizii privind prima centrală electrică din București.

Prin activitatea desfășurată poate fi considerat primul electrician român.

Dintre studenții săi, Dimitrie Negreanu (1858—1908) și Dragomir Hurmuzescu (1865—1954) au devenit profesori universitari cu renume și cu lucrări deosebite în electricitate.

Ing. Paul Cartianu

---

* butelia de Leyda

** escuri = minerale (?)

NOUTĂȚI

CONFERINȚĂ TEHNICO-ȘTIINȚIFICĂ PE TEMA „INSTALAȚII PROGRAMATE DE PROTECȚIE PRIN RELEE ȘI DE AUTOMATIZĂRI ÎN SISTEMELE ELECTROENERGETICE"

La Riga a avut loc în martie 1988 a 2-a Conferință tehnico-științifică la nivelul U.R.S.S., pe tema expusă în titlu. Redăm mai jos un extras din lista de referate prezentate la această conferință.

1. Evaluarea stării SEE în scopurile conducerii antiavarie, autori: Polubotko și Șarapov (Centrul științific din Komi).
2. Algoritm de funcționare și structura organelor de măsură a automaticii de antiavarie la liniile electrice de transport, autori: Sauhatas și Trufanov (Institutul Politehnic Riga).
3. Instalație de comandă a fluxurilor de putere activă pe bază de microprocesoare, autori: Sauhatas ș.a. (Institutul Politehnic Riga).
4. Automatica antiavarie a unei stații electrice alimentînd motoare electrice, pe baza unui controlor programabil, autori: Sivokobilenko ș.a. (Institutul Politehnic Donețk).
5. Determinarea frecvențelor SEE în regimuri normale cu mijloace ale microprocesoarelor, autori: Uspenski ș.a. (Centrul Științific Komi al Academiei de Științe a U.R.S.S.).
6. Realizarea părții logice a instalațiilor de reanclașare automată monofazată cu microcalculatoare, autori: Nudelman ș.a. (VNIIR, Ceboksari).
7. Instalație pe bază de microprocesoare pentru sincronizarea automată a generatoarelor, autori: Sauhatas ș.a. (Institutul Politehnic Riga).
8. Subsistem de transmitere a informației de acționare a instalațiilor de protecție și automatizare, cu microprocesoare, autori: Hramcihin (Institutul Politehnic Donețk).
9. Conducerea optimă a SEE în regim de avarie, autor: Gurov (Institutul Politehnic Riga).
10. Perfecționarea protecțiilor prin relee în străinătate, pe baza calculatoarelor electronice cifrice, autori: Bikov și Semenov.
11. Protecția programabilă contra punerilor la pămînt, autor: Gofman (Kustanaienergo).
12. Sistem integrat de automatizare complexă a stațiilor electrice de mare putere, pe baza tehnicii microprocesoarelor, autor: Stoghii (IED, Acad. de Șt. a R.S.S.Ucrainiene).
13. Releu de curent diferențial pentru protecția barelor pe baza unui microcalculator din seria K1813, autori: Tigulev și Ivanov (Inst. Polit. Novocerkassk).
14. Calitatea funcționării și proprietățile principale ale protecțiilor prin relee, programabile, autor: Mihailov (Inst. Politehnic Novocerkassk).
15. Sistem automat de înregistrare cifrică și de reflectare a informației privind regimurile de avarie a liniilor electrice de transport, autori: ANTOHIN ș.a. (MEI).

Cei interesați pot consulta rezumatele acestor referate, precum și ale unui număr mare de alte referate în **„Referativnîi jurnal" Energhetika 22/1988, nr. 8 (vol. general) capitolul J, pag. 16—44.**

A 4-A CONFERINȚĂ INTERNAȚIONALĂ ÎN PROBLEMELE SISTEMELOR „EXPERT"

Între 7 și 9 iunie 1988 a avut loc la Londra cea de-a patra Conferință internațională în problemele sistemelor „EXPERT" la care au fost prezentate numeroase referate, avînd ca temă principală elaborarea metodei inteligenței artificiale și utilizarea sistemelor EXPERT (EXS) în conducere printre care: EXS — consultanți; EXS și reprezentarea bazei de cunoștințe; controlul funcționării complexelor electronice de conducere, EXS pentru analiza situațiilor de avarie în sistemele electroenergetice; conducerea cunoștințelor; integrarea EXS în timp real; EXS pentru elaborarea programelor; credibilizarea bazelor de cunoștințe în cadrul EXS; cercetarea sistemelor de inteligență artificială etc.

(După: Referativnîi jurnal, Energhetika 22, nr. 10, 1988, poz. 10J103)

SIMULATOR PENTRU PERSONALUL DE DISPECERIZARE OPERATIVĂ A REȚELELOR ELECTRICE

În publicația sovietică „Energhetik' nr. 6/1988 este descris simulatorul cu funcții de instruire și demonstrație, conceput și construit la întreprinderea „Belenergoremnaladka" pentru dispecerii rețelelor electrice. Simulatorul permite imitarea în timp real, în cazul diferitelor tipuri de defecțiuni și avarii, a comportării echipamentelor electrice ale rețelei, precum și învățarea ordinii corecte în care trebuie efectuate manevrele de deconectare pentru reparații sau de conectare după reparații a diferitelor elemente ale rețelei. Standul simulator este dotat cu aparate imitatoare pentru diversele aparate de comutație și instalații de automatizare.

Se asigură prelucrarea a 12 programe de demonstrație și a 12 programe de manevre secvențiale.

În regimul de demonstrație se imită scurtcircuitele dintre faze, stabile și instabile, dublele puneri la pămînt ale diferitelor faze, precum și funcționarea instalațiilor de automatizare în cazul refuzului de funcționare a echipamentelor principale.

Este prevăzută posibilitatea însușirii de către personal a numeroase cunoștințe privind activitatea operativă, precum și imitarea tuturor acțiunilor necesare realizării corecte și în siguranță a manevrelor în rețele, ca de exemplu obținerea permisiunii de lucru, declanșarea și anclanșarea întrerupătoarelor, separatoarelor, cuțitelor de împămîntare, montarea și demontarea dispozitivelor mobile de punere la pămînt, verificarea indicatoarelor de tensiune și multe altele.

PERSPECTIVELE DEZVOLTĂRII PRODUCȚIEI DE ENERGIE ELECTRICĂ ÎN JAPONIA PÎNĂ ÎN ANUL 2000

În Japonia s-au revizuit consumurile de energie electrică prevăzute anterior pentru perioada 1986/87—2000/01 (ani financiari). În concordanță cu prognozele revăzute, creșterea medie anuală în primii zece ani va fi de 2,3% în loc de 2,7% (prognozată anterior), iar în continuare, pînă în anul 2001, de 2,6% în loc de 3,2%. Conform datelor anului financiar 1986/87, industria a consumat 352,6 TWh (1269 PJ) (58,6%), iar pentru sectoarele casnic edilitar, de servicii și industria „turismului și a odihnei" a revenit 41,4% din totalul energiei electrice consumate, adică 249,2 TWh (897 PJ). Începînd din anii 1995—1996 această corelație va fi de ordinul 52,7%—47,3%, iar la începutul secolului XXI consumul casnic, edilitar, al serviciilor și industriei turismului și odihnei va depăși pe cel al industriei (49,8%—50,2% în anul financiar 2000—2001 și 47,8—52,2 % în anul financiar 2005—2006). În 1988 intră în vigoare scăderea periodică de prețuri la energia electrică și gazele naturale. Costul energiei electrice scade, în medie, cu 5,4% în acest an (2808 PJ). În 1995 producția de energie electrică va atinge 780 TWh, iar în anul 2000 — 868 TWh (3125 PJ), în timp ce puterea instalată va fi de 174, respectiv 212 GW. Baza electroenergeticii o vor constitui CNE și CTE pe cărbune, iar vîrful de putere va fi acoperit prin CTE pe păcură și UHEAP. În consumul total de energie al țării, energia electrică va avea o pondere de 40 respectiv 42% în anii 1995 și 2000. Printre direcțiile de bază ale dezvoltării

tehnico-ştiinţifice un loc aparte îl vor ocupa cercetările în domeniul ciclurilor de prelucrare a combustibilului nuclear. Indicele de utilizare a puterii CNE este de aproximativ 77%.

(După: Referativnîi jurnal, 22, Energhetica, vol. general, 1988, nr. 8, poziţiile 8J16 şi 8J17)

ELEMENTE ALE ELECTROENERGETICII ÎN U.R.S.S.

Producţia de energie electrică a U.R.S.S. va atinge în 1990 valoarea de 1860 TWh/an (6696 PJ/an)*. Principala sarcină a electroenergeticii acestei ţări pînă în anul 2000 constă în înlocuirea hidrocarburilor din balanţa termoenergetică de combustibil a centralelor electrice prin cărbunele din cariere de suprafaţă şi prin energia electronucleară. La începutul anului 1987 numărul de CTE cu o putere totală între 1000 şi 4000 MW era de peste 75%; ponderea CET în totalul puterii centralelor termoelectrice era de 40%. În CET se producea în termoficare 35% din energia electrică totală şi 40% din cantitatea totală de căldură produsă în U.R.S.S. Un număr de peste 800 oraşe şi colonii dispun în prezent de alimentare centralizată cu căldură. U.R.S.S. dispune de 12% din potenţialul hidroenergetic mondial economic amenajabil.

Creşte interesul faţă de CHE de mică putere. În prezent este posibilă construirea unui număr de circa 400 astfel de CHE cu o putere totală de 1100 MW, la barajele aflate în exploatarea diverselor lacuri de acumulare, alte 125 CHE cu aceeaşi putere totală — pe canale cu ecluze şi încă 85 CHE, cu o putere de 260 MW, în regiunile îndepărtate ale ţării.

Un element important al politicii energetice a U.R.S.S. îl constituie conservarea energiei, prevăzîndu-se ca pînă în anul 2000 să se economisească în toate domeniile activităţii omeneşti circa 1 miliard tc.c. (29 300 PJ/an) în combustibili organici.

(După: Referativnîi jurnal, 22, Energhetika, vol. general, nr. 8, 1988, poz. 8J1)

* Ceea ce corespunde unei cantităţi de energie primară de circa 21000 PJ/an.

PRODUCŢIA ŞI CONSUMUL DE ENERGIE ELECTRICĂ ÎN R. P. BULGARIA ÎN ANUL 1987

Consumul total de energie electrică a fost în R. P. Bulgaria, în anul 1987, de 47 662 GWh (171583 TJ), revenind 5 385 kWh/locuitor (19 386 MJ/locuitor) şi fiind cu 4,25% mai ridicat faţă de anul precedent. Sarcina maximă absolută a fost de 7 853 MW şi s-a înregistrat la data de 24.12.1987, fiind cu 4,51% mai mare faţă de 1986. Numărul de ore de utilizare anuală a puterii maxime — 6 069. Sarcina minimă absolută a fost de 3 297 MW, cu 4,15% mai redusă faţă de anul precedent şi s-a înregistrat la data de 05.06.1987.

În 1987 s-a introdus pentru prima oară în această ţară o nouă formulă pentru calculul coeficientului de sezonicitate, şi anume:

$$K_{sez} = \frac{p_{max}^{abs} - p_{max}^{min}}{p_{max}^{abs}},$$

unde:

— p_{max}^{abs} este sarcina maximă absolută în anul respectiv;

— p_{max}^{min} — sarcina cea mai mică dintre sarcinile maxime cu durata de o oră.

În anul 1987 valoarea acestui coeficient a fost de: $K_{sez} = 0{,}442$, iar în 1986 — de 0,405.

La sarcina maximă absolută pierderile în reţelele electrice au fost de 74 MW, importul din R.S.R. — de 90 MW, importul din U.R.S.S. — de 790 MW, rezerva turnantă de 212 MW.

Puterea instalată în centralele electrice ale R.P.B., după punerea în funcţiune a blocului de 1000 MW la CNE Kozlodui, a fost de 11 119 MW, din care:

— CTE 5 391 MW
— CET industriale 979 MW
— UHE 1989 MW
— CNE 2760 MW.

Importul maxim a fost de 850 MW.

În revista „Energhetika", 1988, 39, nr. 2, 3 (Sofia), articolul semnat de Anghel Gheorghiev redă şi graficele de sarcină zilnice, săptămînale, lunare şi anuale, precum şi alte numeroase informaţii privind utilizarea diferitelor tipuri de centrale electrice.

(După: Referativnîi jurnal, 22, Energhetika, vol. general, nr. 11, 1988, poz. 11J9)

UNELE ASPECTE DIN PROGRAMUL ENERGONUCLEAR FRANCEZ

În broşura „*Le programme électronucléaire français*", editată de E.d.F. este publicată o serie de informaţii care prezintă interes şi pentru energetica ţării noastre, din care redăm cîteva aspecte.

1. Cu privire la fazele de realizare ale programului PWR 900 MW

Duratele de execuţie pot fi stabilite în mod convenţional, funcţie de momentul de plecare şi momentul de finalizare. Ca momente de plecare pot fi: începerea turnării primelor betoane ale construcţiei de bază, începerea lucrărilor preliminare, de terasamente sau, şi mai devreme, începerea procedurilor administrative. Ca momente, finalizatoare pot fi: primul paralel, funcţionarea cu sarcină de durată, punerea în funcţiune industrială.

În domeniul realizării programului CNE se disting două ansambluri de acţiuni:

1. Programul de pregătire a amplasamentelor
2. Programul de execuţie propriu-zisă

Pregătirea amplasamentelor are două faze: cea de cercetări multiple, cu studiile de implantare a centralei electrice în microamplasament şi cea de elaborare a documentaţiilor de proiectare şi de realizare a procedurilor de obţinere a „Decretului de declaraţie de utilitate publică", semnat de primul ministru.

Pregătirea amplasamentelor se realizează cu un mare avans faţă de programele de execuţie, în scopul de a se dispune de un număr suficient de amplasamente, pentru a evita întîrzierile în aducerea la îndeplinire a programelor de execuţie, în momentul luării deciziilor. Duratele de pregătire a amplasamentelor sînt foarte diferite de la un amplasament la altul. Cu toate acestea se poate afirma că, în medie, durata este de 3—4 ani, în care se includ şi cele 12—18 luni pentru realizarea procedurilor legale.

Perioada de execuţie se consideră de la deschiderea şantierului pe amplasament, cu pregătirea platformei pe care se vor implanta unităţile standard, şi realizarea lucrărilor anexe specifice fiecărui amplasament, în special a lucrărilor sistemului de răcire.

2. Cu privire la perioada de execuţie

2.1. Lucrările de amenajare a platformei

Durata lucrărilor preliminare variază mult, funcţie de condiţiile specifice fiecărui amplasament, pentru pregătirea platformei, executarea fundaţiilor şi a sistemului de răcire.

Amplasamentele pentru CNE echipate cu reactoare PWR 900 MW au fost de o mare diversitate; ele au permis să se cîştige o deosebit de mare experienţă de execuţie în condiţii multiple.

Astfel, condiţiile de fundare au fost foarte diferite: terenuri obişnuite sau aluvionare de pe malurile diferitelor rîuri sau mlăştinoase şi nisipoase.

Sistemele de răcire adoptate sînt fie în circuit deschis cu alimentare din rîuri, estuare sau din apa mării (Le Blayais, Gravelines), fie în circuit închis, echipate cu turnuri de răcire, atît cu tiraj natural, cît şi cu tiraj forţat (Chinon).

A fost obţinută o mare experienţă şi în ceea ce priveşte alţi factori de amplasament, ca de exemplu în probleme de

securitate (la CNE Gravelines datorită mediului industrial şi portuar, cu probleme de protecţie contra incendiilor şi a exploziilor), în probleme de seismicitate (la CNE Cruas, unde ipotezele severe impuse de norme au necesitat prevederea unui suport paraseismic al radierului, amplasat pe platouri cu placă de neopren).

*2.2. Lucrările „standard"**

O comparare a duratelor de execuţie din cadrul lucrărilor „standard" trebuie să excludă duratele lucrărilor preliminare şi ale lucrărilor de alegere a amplasamentelor (care depind de specificul fiecărui amplasament), luîndu-se ca moment de plecare începerea turnării primelor betoane la construcţia clădirii reactorului. Duratele de execuţie a unui bloc energonuclear, considerate din momentul începerii lucrărilor de betoane la construcţia reactorului pînă la primul paralel sînt redate, pentru unele CNE realizate, în tabelul 1.

Tabelul 1

C.N.E.	Durata în luni pentru fiecare bloc, în ordinea de montaj	Observaţii
Fessenheim	78,71	2 blocuri
Bugly	77,69,66,62	4 blocuri
Tricastin	73,68,67,66	4 blocuri
Dampierre	66,67,62,58	4 blocuri
Gravlines	69,66,63,58	4 blocuri
St. Laurent	58,54	2 blocuri
Blayais	60,(65)(62)(62)	4 blocuri

Din tabel se poate observa că duratele de execuţie a lucrărilor „standard" au scăzut de la un bloc la altul pe acelaşi amplasament şi de la o centrală la alta, pe măsura avansării programului energetic nuclear.

* *Nota redacţiei.* Lucrările „standard" EdF includ exclusiv lucrările legate strict de execuţia unităţilor nucleare, adică fără lucrările de amenajare a platformei şi alte lucrări legate de terenul de amplasare

În tabelul 2 sînt arătate, într-un mod mai detaliat, duratele diferitelor etape de execuţie pentru CNE : Fessenheim (F), Le Bugey (B), Incastin (I), Gravelines (G), Dampierre (D), St. Laurent (L) şi Blayais (BL).

Din tabelul 2 (în care duratele pe faze nu se adună aritmetic pentru aflarea duratelor totale, deoarece unele se suprapun parţial peste altele) se observă, că, în timp ce duratele de construcţie a lucrărilor „standard" variază foarte puţin de la o centrală la alta (între limitele de 30 şi 40 luni, cu o medie de 35,3 luni pentru 21 unităţi, duratele de montaj şi de probe (în care intră ca principale activităţi fazele de încărcare a combustibilului şi probele hidraulice) se scurtează de la o unitate la alta la faza de probe, la faza de montaj şi pe măsura realizării programului.

Astfel, la faza de montaj duratele au scăzut de la 27 luni la 13 luni de la prima la ultima centrală indicată în tabel, în timp ce la probe, scăderea duratelor este evidentă de la o unitate la alta, în cadrul aceleiaşi centrale.

De exemplu la CNE Gravelines durata probelor hidraulice a fost la prima unitate de 13 luni, iar la ultima de 6 luni, în timp ce durata încărcării cu combustibil s-a redus de la 8 la 2,5 luni. Sînt însă şi unele excepţii, ca de exemplu la CNE Dampierre, unde probele hidraulice la unitatea 4 au durat 9 luni, la unitatea 2—12 luni, iar la unitatea 3—5 luni, în timp ce la prima unitate se realiza o durată de 10 luni.

2.3. Grija faţă de calitatea execuţiei

O centrală nuclearoelectrică constituie o foarte importantă lucrare de construcţii de mare anvergură, motiv pentru care EdF a impus exigenţe cu totul deosebite organizaţiilor de execuţie.

Iată unele din acestea :

a) la organizarea lucrărilor de execuţie, ţinînd cont, în primul rînd, de realizarea la termenele stabilite a unităţilor energonucleare, se cere ca începerea lucrărilor de construcţii pentru toate clădirile să se facă în acelaşi moment (soluţii prefabricate, planuri judicioase de realizare a execuţiei);

b) la clădirile supuse controlului de asigurare a calităţii, dată fiind funcţia lor de siguranţă sau caracterul delicat al realizării, se impun cerinţe cu totul speciale de calitate a execuţiei.

Ca lucrări martor al timpurilor noastre, centralele nucleare constituie obiect de studii estetice pentru cei mai renumiţi arhitecţi francezi, care adoptă pentru clădirile nestandard, soluţii variabile ale volumelor construite, spe-

Tabelul 2

Comparaţia duratelor pentru diferite faze de execuţie a lucrărilor „standard" de la CNE cu PWR 900

— în luni —

Denumirea CNE şi numărul de ordine al unităţilor / Etape		F		B				I				G				D				L		BL
		1	2	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	1
De le primul paralel la momentul atingerii sarcinii nominale		7	5	8	5	3	4	2	2	2	3	4	3	3	3	4	3	3	1	4	4	2
Probe înaintea primului paralel	Încărcarea cu combustibil	4	6	4	3	2	2	8	3	5	3	6	3	2	2	4	2	2	2	3	4	4
	Probe hidraulice	9 9	5 5	10 10	8 8	5 5	6 6	13 13	12 12	6 6	7 7	13 13	12 12	7 7	6 6	10 10	12 12	5 5	9 9	8 8	8 8	9 9
Montajul echipamentelor electromecanice		27	27	27	24	24	22	20	20	20	19	18	18	18	17	20	18	17	13	13	13	13
Lucrări de construcţii „Standard"		37	31	37	32	33	30	35	35	39	40	35	36	37	35	36	38	40	35	34	30	35

cifice fiecărui amplasament, iar pentru clădirile „standard" adaptează formele arhitecturale potrivit locului de amplasare (pe țărmul mării, în interiorul teritoriului etc.).

Programul energonuclear francez prevede și realizarea unor CNE cu unități PWR de 1300 MW, precum și cu filiera de reactoare supragineratoare SUPERPHENIX de 1200 MW.

Conform revistei franceze „TRAVAUX" nr. 569 din 1982, pregătirea platformelor unor CNE necesită importante lucrări de terasamente cu volume între 3 și 10 mil.m³.

Preluerare de ing. V. Popovici și ing. M. Nistor

SOLUȚII DE LIMITARE A CURENȚILOR DE SCURTCIRCUIT IN ISTALAȚIILE ȘI REȚELELE DE MEDIE TENSIUNE

În cadrul institutului „Prüffeld für elektrische Hochleistrungstechnik" —R.D.G. s-a elaborat o soluție de limitare a curenților de scurtcircuit în instalațiile și rețelele de medie tensiune, realizîndu-se în acest scop o instalație limitatoare de curent, în următoarele variante de execuție :

— *Varianta 1.* În serie cu întrerupătorul de pe circuitul de alimentare al secției de distribuție se montează o instalație limitatoare de curent, compusă dintr-o acționare electrodinamică, cu contactele ultrarapide de comutare și o impedanță limitatoare de curent. La apariția unui curent de scurtcircuit, acesta acționează electrodinamic asupra instalației limitatoare, care introduce la circuitul de alimentare o impedanță limitatoare de curent, care reduce curentul de scurtcircuit la valoarea de 3 ori curentul nominal al circuitului de alimentare, iar valoarea la șoc a curentului de scurtcircuit este redusă la 60% din valoarea ce apare în cazul neprevederii acestei instalații. Curentul de scurtcircuit limitat durează maximum 0,3 secunde, perioadă în care acționează întrerupătorul de pe circuitul defect.

Această soluție permite prevederea pe plecările instalațiilor de distribuție a unor întrerupătoare cu performanțe tehnice mai scăzute, deci un efort de investiții mai redus.

După eliminarea defectului, instalația limitatoare revine automat la starea inițială, asigurîndu-se astfel continuitatea în funcționare a celorlalți consumatori.

Deoarece instalația de limitare este sensibilă începînd de la curenți $(1{,}7 : 2) \times I_n$, alimentarea acesteia trebuie desensibilizată față de regimurile de pornire și autopornire a motoarelor.

— *Varianta 2.* Conține, pe lîngă componentele enumerate mai sus, o instalație de sesizare a arcului liber și o instalație ultrarapidă de scurtcircuitare a barelor colectoare, ce produc un scurtcircuit metalic și dirijează spre pămînt atît arcul de pe bare, cît și cea mai mare parte a curentului de scurtcircuit. În acest caz, pe circuitele cu plecări se pot prevedea separatoare de sarcină în loc de întrerupătoare.

În perioada de timp în care s-a închis scurtcircuitorul rapid, se formează o buclă formată din barele colectoare, scurtcircuitorul rapid, punerea la pămînt realizată de aceasta și locul de defect, prin care circulă un curent aperiodic descărcător, exprimat prin relația cunoscută $i = I_0 \times e^{-t/T_a}$, unde: t este durata defectului;

I_0 — curentul de scurtcircuit la $t = 0$;

T_a — constanta de timp a buclei de scurtcircuit.

Cunoscîndu-se durata t a defectului și considerînd că întreruperea curentului de defect se realizează la valoarea maximă a curentului nominal al circuitului, respectiv $2 \times I_n$ se calculează valoarea necesară T_a a constantei de timp a circuitului cu relația;

$$T_a = \frac{t}{ln\left(\frac{I_0}{2I_n}\right)}.$$

Avînd verificată condiția $i \leqslant \sqrt{2I_n}$ rezultată din calculul valorilor T_a, se pot prevedea la circuitele respective ale secției de distribuție separatoare de sarcină în loc de întreruptătoare.

După izolarea defectului, scurtcircuitorul ultrarapid își întrerupe legătura la pămînt, iar instalația limitatoare revine automat la starea inițială.

Autorul articolului prezintă următoarele avantaje ale soluției:

— utilizarea unor instalații de distribuție de medie tensiune cu performanțe tehnice și costuri mai reduse;

— datorită solicitărilor termice reduse la scurtcircuit, rezultă reduceri semnificative ale secțiunilor cablurilor;

— se simplifică instalațiile de compensare a puterii reactive;

— reducerea nivelului curenților de scurtcircuit în instalații conduce la mărirea siguranței în funcțiune a acestora.

Din calculele de fiabilitate a rezultat că posibilitatea de defect pentru un lot de 100 instalații este de una la 11,4 ani.

(După: Wigsenschaftliche Mitteilungen des Instituts „Prüffeld für elektrische Hochleistungstechnik", autor H. Gerlach)

Traducere și preluerare ing. Gh. Negoiță

SITUAȚIA ENERGETICII NUCLEARE MONDIALE IN 1987

Dezvoltarea energeticii nucleare în lume în 1987 s-a caracterizat printr-un număr mare de blocuri energetice date în exploatare și printr-un număr relativ redus de unități planificate pentru execuție. La 31 decembrie 1987 puterea electrică total instaltă în CNE aflate în funcțiune era de 317600 MW brutto, într-un număr de 404 blocuri energetice. În stadiul de execuție se găseau, în 25 țări, 129 blocuri nuclearoelectrice cu o putere de 123600 MW, iar în stadiul de proiectare — 64 blocuri cu o putere totală de 62800 MW, într-un număr de 16 țări.

Astfel, la sfîrșitul anului 1987 se aflau în cele trei stadii 597 blocuri, cu o putere totală de circa 500 GW.

Dacă în 1986 în toate țările lumii au fost racordate la rețelele electrice 23 de noi blocuri nucleare cu o putere de 23304 MW, în 1987 numărul lor a scăzut la 21 blocuri, iar puterea instalată a fost de 21136 MW. În exploatare industrială au fost date în 1987 doar 15 blocuri, cu o putere de 15170 MW (în 7 țări), majoritatea dintre acestea fiind racordate la rețea încă din 1986. Dintre acestea 11 sînt de tip PWR, 3 de tip BWR, unul aparținînd filierei PHWR(Candu), montat în Canada. Cele 14 reactoare PWR și BWR se repartizează pe țări astfel: S.U.A.-4, Franța-4, Japonia-3, U.R.S.S.-1, Coreea de Sud-1, Ungaria-1. Duratele de la primul paralel pînă la darea în exploatare industrială au variat de la 3 la 11 luni, cu o medie de circa 6,5 luni. Înainte de primul paralel (pornire energetică) are loc așa-zisa pornire fizică, noțiune prin care se înțelege aducerea reactorului în starea critică. Durata dintre pornirea fizică și cea energetică (la un număr de 10 blocuri racordate la sistem în 1987, pentru care există date) a variat între 7 și 91 zile, cu o medie de 35 zile, aceasta fiind perioada denumită de putere zero.

Producția acumulată de energie electrică realizată în toate CNE din lume, cu excepția U.R.S.S., de la începuturile energiei nuclerare pînă la 31 dec. 1987 era de circa 11466 TWh brutto, din care 4338— în S.U.A., 1504—în Franța, 1269-în Japonia, 877,4— în R.F.G., 725,3-în Marea Britanie, 613,1-în Canada, 485,5-în Suedia, 261,4-în Belgia, 222,7-în Spania, 213-în Elveția etc.

Pentru producerea cantității de 11466 miliarde kWh în centralele clasice s-ar fi consumat 2367 mil.t țiței sau 4472 mil. tone cărbune.

În anul 1987, producția de energie electrică în CNE din lume (cu excepția țărilor membre ale CAER) a fost de 1486,6 TWh, reprezentînd o creștere de 7,9% față de anul precedent. Producția maximă în acel an s-a realizat în S.U.A. — 477,75 TWh, urmată de Franța, cu 266 TWh și Japonia cu 190 TWh.

În ceea ce privește indicatorul de disponibilitate energetică, cele mai bune realizări din lume s-au obținut în 1987 la CNE prezentate în tabelul 1.

Tabelul 1

Denumirea CNE şi ţara	Tipul reactorului	P_{inst} [MW]	Data începerii producţiei (luna, anul)	Producţia anuală [TWh/an]	Firma producătoare a echipamentului	Anul exploatării CNE
Gronder, R.F.G.	PWR	1300	09,84	10,218	KWU	3
Philippsburg, R.F.G.	PWR	1268	12,84	10,084	”	3
Brokdorf, R.F.G.	PWR	1235	10,86	9,975	”	1
Ohi-1 Japonia	PWR	1120	12,77	9,794	Westinghouse	10
Kasivazaki-Kar, Japonia	BWR	1067	02,85	9,594	Toshiba	3
Krummel, R.F.G.	BWR	1260	09,83	9,573	KWU	4
Paluelle-2, Franţa	PWR	1290	09,84	9,231	Framatom	3
Unterweser, R. F. G.	PWR	1230	09,78	9,163	KWU	9
Saskehanna, S.U.A.	BWR	1068	11,82	8,879	Gen. el.	5
Grafenrheinfeld, R.F.G.	PWR	1235	12,81	8,864	KWU	6

Tabelul 2

Tipul	În exploatare	În construcţii	În proiect	Total	Dezafectate	Anulate sau cu comenzi retrase
PWR	225/192474	88/91312		356/326450	3/1341	86/98210
BWR	86/72309	14/13652		108/95447	11/1144	33/38569
PHWR						
CANDU	28/15360	15/7976		50/26336	9/914	—
LWGR	28/19204	5/6500		38/31704	2/1108	—
FBR	7/2523	3/1407		11/5530	2/76	1/375
HTR	3/653	—		3/653	1/46	8/8012
AGR, GCR ş.a.	27/15054	4/2722		31/17776	6/514	—
TOTAL :	404/317577	129/123569		597/503905	34/5143	128/146166
din care :						
LWR	311/264783	102/104964		464/427907	14/2485	119/136779

În 1987 s-a început construirea unui număr de şapte blocuri energonucleare cu o putere totală de 5890 MW, din care :

- două în R.P. Chineză la CNE Daia Bei (PWR 2 × 980) a căror punere în funcţiune este programată pentru anii 1992, respectiv 1993 ;
- două în India la CNE Kaiga (PHWR 2 × 235 MW) ;
- trei în Japonia, cu termene de PIF în 1992 pentru CNE Ohi (PWR 2 × 1180 MW) şi în 1993 la CNE Kasivazaki Kariva (BWR, 1100 MW).

Distribuţia tipurilor de reactoare după numărul şi puterea instalată, în MW, la sfîrşitul anului 1987 este prezentată în tabelul 2.

Durata anuală de utilizare a puterii instalate (DAUPI) este un indicator de disponibilitate în energie deosebit de important, reflectînd atît calitatea şi fiabilitatea instalaţiilor, cît şi nivelul de exploatare. În tabelul 3 este redat numărul de blocuri energetice pe tipuri de reactoare în funcţiune în 1987 şi 1986 (în paranteză) pentru diverse niveluri ale indicatorului DAUPI, în procente şi în ore/an.

Pentru blocurile energetice cu reactoare PWR şi BWR mărimea indicatorului de disponibilitate în energie (DAUPI) a avut în 1987, pentru diverse ţări, următoarele valori medii, în procente :

	PWR	BWR
S.U.A.	65	55
Franţa	66	(nu există)
Japonia	79	77
R.F.G.	78	81
Suedia	69	82
Elveţia	83	87
Spania	83	76

Tabelul 3

DAUPI (în % / ore/an)	Numărul de blocuri cu reactoare de tip: PWR	BWR	PHWR-Candu	GCR, AGR, FBR și HTGR
Pînă la 60 / 5256 ore/an	44(45)	23(22)	7(10)	23(18)
60,0—69,0 / 5256—6044 ore/an	46(45)	10(22)	4(10)	3(18)
70,0—79,0 / 6132—6920 ore/an	48(48)	23(14)	4(5)	3(5)
80—89 / 7008—7796 ore/an	34(38)	17(18)	6(3)	3(8)
peste 90 / peste 7884 ore/an	10(15)	10(5)	5(4)	1(2)
TOTAL:	182(191)	83(81)	26(32)	33(51)

(După: „Energheticeskie stroitelstvo za rubejom" nr. 5/1988 Traducere și prelucrare ing. MIHAI NISTOR

PERSPECTIVELE DEZVOLTĂRII CERAMICII CU UTILIZĂRI TEHNICE IN INDUSTRIA ENERGETICĂ DIN MAREA BRITANIE

La Universitatea din Leads (Marea Britanie) s-a efectuat o amplă analiză privind perspectivele dezvoltării producției pieselor de ceramică cu utilizări tehnice și a pieților de desfacere în țară.

În mod convențional, piesele de ceramică industrială se împart în 3 grupe:

A) Piese ceramice posedînd în mod evident proprietăți electrice sau magnetice (condensatoare, traductoare, magneți etc.); producția acestei categorii de piese este bine organizată și are tendința permanentă de creștere.

B) Piese ceramice de tăiat și abrazive pentru metale, din care s-au evidențiat instrumentele ceramice de tăiat din argilă armată cu ZrO_2, și care posedă o serie de avantaje față de carbidul de wolfram; această grupă de piese își are de asemenea o piață asigurată.

C) Piese ceramice utilizate la mașinile termice, în condițiile unor temperaturi înalte; această grupă este insuficient dezvoltată în Marea Britanie, cu toate că această direcție se consideră cea mai de perspectivă.

Cauzele stagnării constau în siguranța insuficientă și în costurile încă foarte mari la piesele de ceramică.

Prezența unor palete corespunzătoare de ceramică la rotoarele de lucru ale turbinelor cu gaze ar permite ridicarea temperaturii în zona de lucru, de la 1100°C la 1300°C; din păcate piesele ceramice respective nu posedă calități mecanice suficiente și se distrug la cea mai mică abatere de la regimul normal de funcționare a turbinei. La motoarele diesel avantajele principale ale pieselor de ceramică (rezistență la uzură și un coeficient redus de inerție) nu sînt totuși atît de mari încît să justifice prețurile foarte ridicate ale acestora.

În articolul din publicația *Appl. Eng. Ceram-Engine.* Appl. Pap. Semin. London, 26 apr. 1988, se fac în final recomandări de perfecționare a structurii materialelor ceramice și de optimizare a proceselor de fabricație.

(După: Referativnii jurnal 22 Energhetika, vol. general. nr 9/1988- poz. 9. Ş, 128)

DIRECȚIILE DE PERFECȚIONARE A PRODUCȚIEI DE CABLURI ELECTRICE

După aprecierile firmei Siemens, care este un mare producător de cabluri electrice la tensiuni pînă la 400 kV, cererea de cabluri crește mai încet decît cerințele față de calitatea acestora și caracteristicile lor tehnice. Aceste aprecieri pot fi analizate în detaliu pe baza articolului apărut în nr. 30/1988 al publicației *Elektrodienst*, intitulat *Im Stagnierenden Market Impulse Geben.*

Factorul principal, care determină condițiile de piață, se apreciază în articol, îl constituie faptul că majoritatea consumatorilor preferă cablurile cu izolație electrică din polietilenă, care se caracterizează prin simplitatea pozării, eficiență economică și nivelul scăzut al pierderilor în exploatare. Pe de altă parte, pentru comanda liniilor de cabluri, în mod deosebit în rețelele de înaltă tensiune, se utilizează tot mai mult cabluri optice, fapt care conduce la folosirea diverselor sisteme de comandă și control, cu ajutorul microprocesoarelor, al calculatoarelor electronice și al altor instalații electronice. În aceste condiții, soluțiile constructive, tot mai complexe, ale cablurilor duc la creșterea prețurilor și totodată, la micșorarea cererii. Cu toate acestea, asupra pieții exercită presiuni și alți factori, ca de exemplu, cerințele crescînde privind siguranța cablurilor în condiții extreme de exploatare, puritatea ecologică și rezistența la umiditate. De aceea, producătorii de cabluri trebuie să ia în considerare, în primul rînd, cerințele economice, prețul cablurilor fiind deseori inacceptabil pentru beneficiari, chiar atunci cînd cablurile sînt de o foarte bună calitate. Această situație nu poate duce, în viitor, decît la modificarea în continuare a condițiilor de piață, în special dacă se iau în considerare noile cerințe, mult mai dure, ale standardelor de cabluri și de încercări ale acestora, care sînt de așteptat la nivelul anului 1992, deși acest proces, are, în sine, un caracter obiectiv.

(După: Referativnii jurnal 22 Energhetika, vol. general, nr. 8/1988, poz. 8E97)

STABILIZAREA TERMICĂ A SOLULUI LA TRASEELE DE CABLURI – FACTOR DE EFICIENȚĂ ECONOMICĂ

În revista *Elektrizitätswirtschaft* nr. 9/1988, Bakelmann Heinrich publică articolul *Thermische Stabilisierung on Kabelgraben* în care analizează influența reciprocă între cabluri și solul în care acestea sînt pozate în șanțuri.

Influența cablurilor asupra stării solului din șanțul de pozare se exprimă în principal prin micșorarea cantității de umiditate în sol și, drept urmare, prin modificarea coeficientului de conductibilitate termică a acestuia. La proiectarea liniilor de cabluri, la calculul conductibilității termice se poate lua în considerare uscarea solului, dar acest fapt poate duce la reducerea nefundamentată a sarcinilor admisibile în cablu și la dezavantajele economice care rezultă din aceasta.

După cum arată autorul, este dovedit faptul că stabilizarea conductibilității termice a solului în traseul de cabluri permite evitarea dezavantajelor economice. Drept material stabilizator poate fi utilizat fie betonul, fie un amestec de ciment și nisip în proporții de la 1 : 8 la 1 : 20. Rolul cimentului în acest amestec este acela de a îmbunătăți contactul firelor de nisip cu pămîntul. Materialul stabilizator nu își pierde conductibilitatea termică nici la uscarea pămîntului, fapt care permite creșterea sarcinii cablului cu 41—58%.

Luînd în considerare cheltuielile crescînde, determinate de echiparea unui traseu de cabluri, utilizarea materialelor stabilizatoare este fundamentată economic pentru liniile de cabluri de mare putere, la tensiunea de 400 kV.

(După: Referativnii jurnal 22 Energhetika, vol. general nr. 8/1988, poziția 8.E.115)

SIMPOZIONUL NAŢIONAL AL REŢELELOR ELECTRICE

Ediţia a V-a, 1988, Cluj—Napoca

În zilele de 5—7 octombrie 1988 s-a desfăşurat la Cluj—Napoca, organizată de Centrala Industrială de Reţele Electrice în colaborare cu Secţia Energetică a C N I T, Comitetul Naţional Român C I G R E şi IRE Cluj, a V-a ediţie a Simpozionului Naţional de Reţele Electrice, manifestare tehnico-ştiinţifică bienală, iniţiată în anul 1980.

Simpozionul şi-a propus să prezinte şi să dezbată cu specialiştii din învăţământul superior, institutele de cercetare-proiectare de specialitate şi întreprinderile de montaj şi exploatare de profil, realizările deosebite obţinute în ţara noastră şi pe plan mondial în domeniul reţelelor electrice şi să jaloneze direcţiile de dezvoltare a reţelelor electrice în spiritul imperativelor actualei etape.

Ediţia a V-a a SNRE s-a desfăşurat în cadrul a trei secţii, şi anume:

— Secţia I „*Concepţia, realizarea şi sistematizarea reţelelor de transport şi distribuţie a energiei electrice*"
— Secţia a II-a „*Modernizarea activităţii de exploatare a instalaţiilor de transport şi distribuţie a reţelelor electrice*"
— Secţia a III-a „*Optimizarea funcţionării reţelelor electrice, utilizarea tehnicii de calcul în conducerea sistemului de transport şi distribuţie a energiei electrice*".

Programul a cuprins 159 referate şi comunicări prezentate de institutele de cercetare-proiectare (ISPE, ICEMENERG, IPA) institutele de învăţământ superior (I.P. Bucureşti, I.P. Timişoara, I.P. Iaşi, I.P. Cluj, Universitatea Craiova), CIRE, IRE şi unele întreprinderi industriale.

Lucrările prezentate la simpozion au fost tipărite, prin grija IRE Cluj, în trei volume corespunzătoare tematicilor celor trei secţii menţionate şi au fost puse la dispoziţia participanţilor şi unităţilor interesate.

La simpozion au participat 252 persoane, interesul manifestat de participanţi rezultînd şi din faptul că la referatele prezentate în plen sau în cadrul secţiilor au avut intervenţii 145 specialişti.

Din problematica prezentată în cadrul simpozionului s-au evidenţiat, prin necesitatea şi eficienţa soluţiilor, următoarele:

1. În domeniul concepţiei, realizării şi sistematizării reţelelor:

— trecerea într-o primă etapă la realizarea liniilor aeriene de înaltă tensiune în soluţie compactizată cu extinderea în viitor la soluţii cu echipamente componente neconvenţionale;
— introducerea indicatorului „Gradul de utilizare economică" al reţelei electrice;
— modificarea şi completarea unor normative ale MEE referitoare la o nouă organizare a reţelelor în teritoriu, cu soluţii tehnice noi corelate cu creşterea siguranţei în funcţionare a reţelei;
— completarea bibliotecii de programe de calcul ELECTRA cu noi programe privind proiectarea unor elemente ale reţelei.

2. În domeniul modernizării activităţii de exploatare a reţelelor:

— extinderea cercetărilor privind introducerea echipamentelor cu microprocesor în protecţiile prin relee şi automatizări;
— implementarea în exploatare a metodei de teledetecţie a temperaturii căilor de curent şi trecerea în viitor la sistemul de termoviziune a instalaţiilor;
— formarea unei biblioteci de programe de calcul specifice exploatării, pe microcalculatoare şi implementarea acesteia la IRE;
— extinderea soluţiilor de protecţie şi automatizări în curent alternativ la MHC şi CHEMP;
— realizarea unor noi utilaje şi aparate pentru profilaxia instalaţiilor de înaltă şi medie tensiune, cu caracteristici şi performanţe corelate cu necesităţile exploatării;
— studierea experimentală a fenomenelor în LEA cauzate de condiţiile meteorologice deosebite şi introducerea în proiectare a unor soluţii noi pentru combaterea acestora;
— aplicarea noilor tehnologii experimentate în domeniul liniilor electrice aeriene şi în cablu.

3. În domeniul optimizării funcţionării reţelelor electrice şi al utilizării tehnicii de calcul în conducerea reţelei

— finalizarea acţiunii de introducere a teleurmăririi puterii şi energiei electrice cu calculator de proces;
— elaborarea normelor privind regimul deformant şi nesimetric introdus de consumatorii speciali, stabilirea metodelor şi aparaturii pentru determinarea acestor regimuri şi a soluţiilor pentru echilibrarea reţelei;
— intensificarea acţiunilor pentru trecerea consumatorilor importanţi la tehnologii cu randament energetic îmbunătăţit.

Din dezbaterile pe marginea realizărilor deosebite obţinute în domeniul reţelelor electrice din R.S.R. şi pe plan mondial s-a ajuns la concluzia că prin valorificarea lucrărilor prezentate se va aduce o contribuţie însemnată la atingerea obiectivelor majore ce stau în faţa energeticienilor din ţara noastră.

Ing. Nicolae Georgian
— CIRE —

A 5-A CONSFĂTUIRE A ENERGETICIENILOR CU TEMA

„VALORIFICAREA RESURSELOR ENERGETICE REFOLOSIBILE ȘI A SURSELOR NECONVENȚIONALE"

— Constanța, 11—12 mai 1989 —

Consfătureа a fost organizată de M.E.E. sub îndrumarea CNST, cu sprijinul organelor locale din județul Constanța și a reunit circa 700 participanți, specialiști energeticieni din cercetare, proiectare, învățămînt, din unitățile economice subordonate organelor centrale și locale, delegați ai ministerelor și ai consiliilor populare.

La lucrări au luat parte tovarășul Mihail Florescu, ministru secretar de stat la CNST, tovarășul Dimitrie Ancuța, prim vicepreședinte al CPJ Constanța, tovarășul Valeriu Popa, adjunct al ministrului energiei electrice, conducători ai unor institute de cercetare și de proiectare, precum și ai unor întreprinderi. Lucrările consfătuirii au fost urmărite de reprezentanți ai radiodifuziunii, ai presei centrale și locale.

Programul a cuprins dezbateri în plen pe baza unor referate de sinteză, o masă rotundă cu tema „Acțiuni pentru realizarea independenței energetice a comunelor și unităților agrozootehnice ", o masă rotundă de schimb de experiență privind comportarea în exploatare a instalațiilor de valorificare a surselor neconvenționale de energie, precum și lucrări pe secțiuni cu prezentarea de comunicări de specialitate asupra realizării de sisteme, instalații și echipamente de valorificare a resurselor energetice refolosibile și a surselor neconvenționale în industrie, respectiv, în agricultură, industria alimentară, localități din mediul rural și în alte sectoare de activitate. Manifestarea a dat posibilitatea unor fabricanți de echipamente de a-și prezenta produsele. De asemenea, participanții au putut vizita o expoziție cuprinzînd principalele realizări în domeniu ale unităților din județul Constanța. A mai fost organizată o vizită tehnică la unele obiective de interes din zonă, între care și la poligonul de experimentare a instalațiilor de valorificare a energiilor neconvenționale de la Agigea, aparținînd Institutului de Cercetări și Proiectări pentru Industria Eectrotehnică.

În cadrul lucrărilor au fost prezentate 116 referate de specialitate, iar la discuții au participat 82 delegați.

Problematica dezvoltată în referate a acoperit o arie extrem de largă, de la comunicarea unor realizări de vîrf ale cercetării și industriei de echipamente românești pînă la examinarea cu spirit critic a compartimentului în exploatare a instalațiilor, cu menționarea unor contribuții ale beneficiarilor la implementarea acestora. Dezbaterile pe marginea materialelor puse în discuție au prilejuit un amplu schimb de experiență între toate categoriile de participanți, ceea ce a permis chiar rezolvarea operativă a unor neclarități și stabilirea prin efort comun a noi soluții tehnice.

Din examinarea materialelor prezentate și a conținutului dezbaterilor s-au desprins următoarele concluzii :

1. În ultimii ani, a crescut tot mai mult ponderea energiilor neconvenționale și a resurselor energetice refolosibile în satisfacerea cererii de energie a tot mai multe categorii de consumatori. Acesta este rezultatul acțiunilor organelor de partid și de stat pentru promovarea cu hotărîre a obiectivelor de valorificare, dar și urmarea faptului că tot mai mulți beneficiari s-au convins de multiplele avantaje ale utilizării acestora.

2. Din cuvîntul multor participanți a rezultat faptul că resursele energetice refolosibile reprezintă o alternativă în rezolvarea unor probleme legate în special de asigurarea consumatorilor de căldură, de potențial termic redus, atît în industrie, cît mai ales, în cartierele de locuințe. În cazurile în care s-au realizat cooperări între platformele chimice și metalurgice și municipalități, rezultatele au fost deosebit de satisfăcătoare. Au fost menționate unele aspecte care trebuie rezolvate în continuare, în special cele legate de promptitudinea în livrarea și calitatea echipamentelor, de durata zilnică de funcționare a instalațiilor de recuperare și de asigurarea cu freon a pompelor de căldură pe bază de compresie.

3. A rezultat ca o concluzie categorică ideea că instalațiile de valorificare a surselor neconvenționale de energie sînt deosebit de eficiente energetic, dar și sub aspect ecologic în condițiile în care alegerea soluțiilor, fabricarea echipamentelor, montarea acestora, modul de exploatare, întreținere și reparare sînt realizate corespunzător. A fost evidențiată ca deosebit de rodnică inițiativa CNST de a dota toți factorii interesați cu caietele documentare de echipamente și de proiecte tip, precum și aportul personalului cu atribuții de îndrumare și control al MEE, care îndrumă permanent și cu competență unitățile beneficiare pe linia utilizării pe scară tot mai largă a energiilor neconvenționale.

4. Ca urmare a acțiunilor întreprinse de CNST de concentrare a eforturilor proiectanților și producătorilor de echipamente s-a reușit obținerea unor indicatori tehnico-economici din ce în ce mai favorabili, fapt ce face energiile neconvenționale tot mai competitive. A devenit o realitate faptul că în prezent, în majoritatea situațiilor, acestea au devansat unele soluții clasice, cum este, de exemplu, cărbunele.

5. Au fost consemnate progresele realizate în direcția utilizării în soluții integrate a surselor neconvenționale și a soluțiilor combinate între acestea și resursele energetice refolosibile ; de asemenea, au fost analizate avantajele cooperării între diferite unități învecinate pentru utilizarea în trepte a energiei termice provenită din energie geotermală, din resurse energetice refolosibile etc.

În acest context a fost menționată pozitiv activitatea M.E.E. și a unităților sale de cercetare și proiectare în direcția inventarierii resurselor și constituirii unei bănci de date, stabilirii și avizării soluțiilor de valorificare a acestora și a elaborării unor documentații tehnice care să permită introducerea tot mai rapidă a progresului tehnic în acest atît important domeniu energetic.

6. Bilanțul realizărilor de pînă acum face să fie obligatorie concluzia că se impune perfecționarea pe mai departe a activității, astfel ca promovarea în continuare a energiilor neconvenționale să se facă pe scară mult mai largă, avînd în vedere potențialele energetice de care dispune țara noastră, eliminîndu-se orice tendință de inerție și formalism, de tratare birocratică a problemelor.

În acest sens, programul de extindere a valorificării energiilor neconvenționale aprobat de conducerea superioară reprezintă un suport deosebit pentru mobilizarea inițiativelor.

De asemenea, acțiunea de asigurare a independenței energetice a comunelor și a unităților agrozootehnice constituie un impuls în depistarea și punerea în valoare a tuturor surselor de ener gie existente în mediul rural, care pot fi valorificate prin procedee neconvenționale.

Toate facilitățile și acțiunile de sprijin stabilite de conducerea superioară pentru a da un caracter prioritar programelor vor stimula factorii de execuție în promovarea cu hotărire a noilor surse de energie, astfel ca să se realizeze o mai bună satisfacere a cerințelor de energie ale consumatorilor respectivi. Toate aceste aspecte au fost amplu discutate în cele două zile de dezbateri, ajungîndu-se la un consens asupra necesităților realizării cît mai grabnice a prevederilor din programe. Totodată s-au făcut propuneri privind modalitățile de realizare a unei cît mai bune colaborări în interiorul comunelor între toate unitățile interesate sub coordonarea consiliilor populare, s-au adus sugestii pentru fiabilizarea și creșterea funcționalității echipamentelor și s-au convenit căi de îmbunătățire a relațiilor proiectant--constructor-beneficiar.

A mai fost dezbătută și problema cooperării în exploatare a microsistemelor integrate, în special în cazul rețelelor geotermale, al instalațiilor de biogaz, precum și al relației dintre microcentralele electrice locale și sistemul energetic național. Avînd în vedere că sursele pe care le valorifică aceste microcentrale — energia cursurilor mici de apă, a vîntului, a biogazului — au un pronunțat caracter aleatoriu provenind din disponibilitatea sezonieră a energiei primare, precum și din faptul că funcționarea izolată a acestora duce la costuri ridicate, la necesitatea unui personal calificat etc. s-a convenit că este necesar ca aceste noi surse să rămînă racordate la Sistemul Energetic Național, ceea ce va permite livrarea în rețeaua națională a eventualelor surplusuri ce vor apărea în perioadele de vîrf de activitate.

8. O altă problemă amplu dezbătută a fost aceea a clarificării performanțelor reale ale unor echipamente. În urma expunerii punctelor de vedere ale unui mare număr de participanți s-a convenit asupra necesității ca proiectanții și producătorii de echipamente să asigure omologarea — potrivit prevederilor legale — a acelora care în prezent sînt în faze premergătoare producției de serie, să fie editate caiete de sarcini și cărți tehnice corespunzătoare bazate pe urmărirea atentă a comportării în exploatare a primelor exemplare. S-a stabilit ca în documentațiile de investiții să nu fie prevăzute decît tipodimensiuni omologate.

Avînd în vedere importanța promovării energiilor neconvenționale în cadrul dezvoltării bazei energetice a țării și în satisfacerea mai completă a consumurilor de energie și chiar în rezolvarea unor probleme de protecție a mediului, discuțiile au relevat hotărîrea participanților de a fructifica la maximum experiența dobîndită în urma consfătuirii, de a acționa cu fermitate la locurile de muncă pentru punerea cît mai grabnică în aplicare a prevederilor din programele prioritare, cu convingerea că astfel vor contribui la mai buna gospodărire a disponibilităților energetice.

ing. Claudiu Săvulescu,
inspector general MEE—DTSNRE

PAUL DIMO Sistemul energetic planetar, Editura Tehnică, București, 1988.

Dependența dezvoltării societății de energie este de mult dovedită, dependență cu atît mai strînsă, cu cît societatea este mai evoluată.

Această dependență se manifestă și prin costurile tot mai mari ale energiei, datorite atît necesarului în cantități mereu crescînde, cît și scumpirii surselor de energie pe măsura epuizării celor mai avantajoase.

Pe de altă parte, crizele energetice din deceniul trecut au evidențiat, în mod tot mai acut, necesitatea unei reconsiderări a energiei în ansamblu, tehnologiile actuale permițînd mutația consumului de la o formă de energie la alta și urmărindu-se optimizarea globală pe plan energetic.

În aceste condiții, creșterea eficienței în domeniul energetic este de o deosebită importanță, una din căile de creștere constituind-o colaborarea internațională. Această colaborare, necesară din punct de vedere economic, este posibilă în prezent la scară continentală sau chiar mondială, datorită progresului tehnic care ,,scurtează'' tot mai mult distanțele de transport pentru toate categoriile de combustibili — petrol, gaze, cărbune. În mod similar, și pentru energia electrică, soluțiile recente — transport la mare distanță prin tensiuni foarte înalte în curent alternativ, sau, mai recent, în curent continuu, combinat cu interconectările asincrone de tip spate la spate (,,back-to-back'') — permit să ne gîndim la interconectări de scară continentală. În concluzie, asistăm la un fenomen tot mai accentuat de ,,internaționalizare'' a energiei, care ne obligă a gîndi problema cel puțin la nivel continental.

În acest context, Editura Academiei Republicii Socialiste România a publicat în anul 1988 lucrarea cu titlul ,,Sistemul energetic planetar'', al cărui autor este dr. docent Paul Dimo, membru corespondent al Academiei R.S. România, binecunoscută personalitate din lumea energeticienilor, neobosit cercetător.

Cunoscut ca specialist în probleme de sisteme electroenergetice și creator al analizei nodale DIMO, cunoscută și folosită în țări dezvoltate din punct de vedere energetic, cum sînt: S.U.A., Franța, U.R.S.S. ș.a., autorul emite idei interesante pentru prezentul și viitorul omenirii.

Lucrarea cuprinde trei părți și o anexă și se bazează pe o bibliografie bogată și de actualitate în domeniul energetic.

Prima parte, *Extrapolînd trecutul. Formarea sistemelor electroenergetice*, face o prezentare pertinentă a evoluției sistemelor electroenergetice de la începutul folosirii energiei electrice, explicînd apariția rețelelor electrice locale, interconectarea acestora și formarea sistemelor electroenergetice naționale, și în fine caracterizarea epocii actuale prin apariția vastelor sisteme electroenergetice internaționale interconectate, ca soluție optimă pentru funcționare economică, sigură și cu investiții reduse.

Autorul trece în revistă principalele probleme actuale ale sistemelor electroenergetice, comentînd soluțiile posibile. Astfel:

Sistemele electroenergetice vaste interconectate au ajuns la depășirea anumitor limite tehnice și tehnologice în legătură cu stabilitatea statică și tranzitorie a regimurilor, cu creșterea curenților de scurtcircuit, acestea avînd implicații asupra costului aparatajului, care devine complicat și ancombrant. Ca soluție, autorul discută conversia alternativ-continuu și continuu-alternativ pentru ameliorarea stabilității, pentru transportul energiei electrice la distanțe foarte mari și pentru legături asincrone între sisteme.

Ponderea din ce în ce mai mare în producția de energie electrică a centralelor nuclearoelectrice cu puteri unitare mari, implică luarea unor măsuri speciale de siguranță a funcționării sistemelor electroenergetice. Totodată, folosirea acestor centrale în cazul unor curbe de sarcină neuniforme, pledează pentru interconectarea cît mai largă a sistemelor electroenergetice.

De asemenea, autorul pune în discuție ,,cele 12 surse de energie primară'', analizînd rezervele actuale și distribuirea acestora pe planeta noastră. Se subliniază că la al 13-lea Congres al Conferinței Mondiale a Energiei (1986) s-a semnalat o situație neechilibrată a repartiției surselor de energie între emisfera nordică și cea sudică a Terrei.

În a doua parte a lucrării, *Prospectînd viitorul*, autorul pornește de la premisa cunoscută privind evoluția consumului de energie electrică, și anume că dublarea acestuia se face la intervale de aproximativ 10 ani (legea celor 10 ani). Cu toate că autorul însuși are anumite rezerve asupra valabilității acestei legi o folosește în ideile expuse în special pe considerentul că energia electrică va reprezenta un element, esențial în dezvoltarea și progresul omenirii. Menționăm dintre aspectele tratate în această parte:

— dinamica energetică soare-pămînt va juca un rol deosebit în balanța energetică a lumii;

— în larga perspectivă se întrevede trecerea de la sisteme energetice continentale la un sistem energetic planetar; în acest mod se vor putea valorifica cît mai eficient diferențele de pe glob în ceea ce privește fusele orare, repartiția inegală a surselor de energie și a consumului etc.;

— evoluția societății, care necesită cantități mereu sporite de energie electrică, oferă totodată și soluțiile tehnologice de rezolvare eficientă, cum ar fi supraconductoarele electrice, creșterea tensiunii și deci ameliorarea transportului electric, extinderea transportului în curent continuu etc.

În partea a treia, *Extrapolînd noi dezvoltări*, se prezintă unele soluții de bază în energetica viitorului, ca de exemplu:

— alături de energia nucleară, sursele clasice — cărbunele și soarele, pot asigura încă pe mult timp dezvoltarea energetică a lumii;

— organizarea unui sistem energetic planetar, prin interconectarea sistemelor energetice continentale în zona polului nord, constituie o soluție eficientă în perspectivă și care ar permite și valorificarea supraconductibilității în condițiile criogenice naturale de la pol;

— soluția unui sistem energetic planetar, axat pe o interconectare polară, ar permite plasarea unor instalații poluante în zonele polare, deci, după părerea autorului, cu perturbații ecologice mult mai reduse:

— implementarea soluției de interconectare polară impune cooperarea tuturor popoarelor de pe glob, ceea ce autorul consideră ca un avantaj al său cel mai de preț.

Una dintre consecințele organizării energetice la scară planetară o constituie marea greutate a conducerii unui sistem deosebit de complex. Situația oferită de autor, în cadrul unor anexe, constă din utilizarea unor echivalențe de sinteză, pe anumite subansambluri, procedee tot mai des folosite în practica internațională a sistemelor energetice. Una din preocupările de bază ale specialiștilor în domeniu o constituie însă modul de stabilire a acestor echivalențe, pentru a reprezenta cît mai fidel zona sintetizată, în toate condițiile de funcționare.

În acest sens, autorul prezintă, pe scurt, lucrările sale în domeniu, originale și de mare valoare, elaborate în țară și larg recunoscute și implementate peste hotare, constituind soluții de sintetizare în mod cît mai intuitiv a funcționării rețelelor, indicatorii săi și anume REI-Radial, Echivalent, Independent — denumire dată de autor precum și AND — Analyse Nodale Dimo, — denumire dată de Electricité de France.

În concluzie, trebuie arătat că din lectura acestei cărți, în afară de soluțiile pur tehnice, de mare anticipație, rezultă și un mesaj umanist privind necesitatea cooperării strînse pe plan internațional pentru rezolvarea în comun a problemelor tot mai mari pe care le ridică energetica în fața întregii omeniri.

Redacția

Dr. ing. MÁTHE BALAZS
1929—1989

La data de 4 aprilie s-a stins din viaţă în mod neaşteptat dr. ing. Balazs Máthe, şeful colectivului de linii electrice subterane din cadrul laboratorului de reţele electrice şi elemente componente al ICEMENERG. Dispariţia sa este o pierdere pentru energetica românească, fiind recunoscut şi apreciat ca specialist încă din 1969, cînd şi-a început activitatea în cadrul acestei ramuri a economiei naţionale.

Născut la data de 23.04.1929 în comuna Aldea, judeţul Harghita, a absolvit liceul în mod strălucit la Cristurul Secuiesc, judeţul Cluj. A urmat cursurile Institutului Politehnic în oraşul Sverdlovsk, pe care le-a absolvit în 1954. Apoi a lucrat în cadrul Centrului de Cercetări al Intreprinderii Electroputere Craiova, ca specialist în aparataj de înaltă tensiune şi tehnica tensiunilor înalte. Competenţa sa tehnică şi neostenita dorinţă de cunoaştere şi lărgire a ariei de preocupări, l-a făcut să obţină în această perioadă o serie de priorităţi în domeniul încercărilor transformatoarelor cu undă de impuls, în cel al efectului cîmpului electric asupra omului, cît şi în domeniul perfecţionării aparatajului de înaltă tensiune. Bogata sa activitate profesională şi talentul de cercetător, afirmate pregnant încă de la începutul carierei, au făcut să fie propus pentru studii de aspirantură fără frecvenţă în U.R.S.S.

După susţinerea dizertaţiei se transferă în cadrul Institutului de Cercetări Energetice al Ministerului Energiei Electrice. Aici a condus cu competenţă şi exigenţă activitatea de cercetare în cadrul laboratorului de înaltă tensiune, preocupîndu-se de dezvoltarea bazei materiale a institutului şi de crearea primei staţii de încercări de mare putere conectată la Sistemul Energetic Naţional. Pe baza concepţiei şi proiectelor sale s-au realizat instalaţiile de reglare a curenţilor de scurtcircuit, laboratoarele de încercări de foarte înaltă tensiune etc.

De asemenea, a activat în cercetarea cablurilor şi accesoriilor acestora, precizînd cerinţele de calitate pentru cablurile destinate unor scopuri speciale, centrale nuclearoelectrice etc.

Dr. ing. Máthe Balazs a elaborat numeroase lucrări tehnice, publicate de edituri româneşti şi străine, a participat cu lucrări valoroase la multe conferinţe şi simpozioane din ţară şi străinătate şi a stabilit numeroase colaborări cu institute din străinătate.

Valoroasa sa activitate a fost în permanenţă un exemplu pentru colaboratorii mai tineri cu care a lucrat, iar autoexigenţa sa a contribuit la formarea şi perfecţionarea pregătirii profesionale a acestora.

СОДЕРЖАНИЕ

ТЕПЛОЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

ТЕОДОР ОРОВЯНУ, ИОН СПУЛБЕР: Несколько соображений относительно энергопотребления при транспорте жидкостей через трубопроводы 289—291

ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

ИОАН ГИУЦЭ, РОМУЛУС СФИКИ: Подвод под давлением из железобетона в рамках гидроэнергетических сооружений малой мощности 292—294

АТОМНЫЕ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

РОДРИГ ЛУКРЕЦЯНУ, ТРАЙАН МАУНА: Точка зрения относительно качества воды охлаждения на атомных электростанциях типа 295—298

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ

ДОРЕЛ ЧЕРНОМАЗУ: Вклад в рост надежности в эксплуатации переключателей для регулирования в отключенном состоянии напряжения трансформаторов с мощностью до 1600 кВА 299—303

АДРИАН БАРАБОЙ, ЭМИЛИАН ФУРНИКЭ: Актуальные стремления в технике коммутационных оборудований с вакуумом 304—309

ЛАУРЕНЦИУ ГОЙЯ: Соображения, касающиеся некоторых положений относительно защиты от поражения электрическим током 310—315

ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ

РАДУ ПОПА, ВИКТОР АТХАНОСАВИЧ: Математическая модель и программа расчета для определения оптимального варианта развития существующей теплофикационной сети 316—321

ИСТОРИЯ ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ

ПАУЛ КАРТИАНУ: 140 лет со дня выпуска первой книги об электрические, на румынском языке 322

НОВОСТИ

ИЗ МИРОВОЙ ЭНЕРГЕТИКИ 298, 323—328

ХРОНИКА 329—331

РЕЦЕНЗИЯ 332

ПЕРСОНАЛИ 333

INHALT

WÄRMEKRAFTWERKE

TEODOR OROVEANU, ION SPULBER: Betrachtungen zum Energieverbrauch beim Transport der Flüssigkeiten durch Rohrleitungen 289—291

WASSERKRAFTWERKE

IOAN GHIUȚĂ, ROMULUS SFICHI: Druckwasserzuleitungen aus vor Ort gegossenem Stahlbeton für Wasserkraftwerke kleiner Leistung 292—294

KERNKRAFTWERKE

RODRIG LUCREȚEANU, TRAIAN MAUNA: Gesichtspunkt zur Kühlwassergüte der CANDU Kernkraftwerke 295—298

ELEKTRISCHE NETZE

DOREL CERNOMAZU: Beiträge zur Erhöhung der Betriebssicherheit der Schalter für die Spannungsregelung der Trafos mit Leistungen bis 1600 kVA in abgeschaltetem Zustand 299—303

ADRIAN BARABOI, EMILIAN FURNICĂ: Gegenwärtige Entwicklungsrichtungen in der Technik der Vakuumschaltern 304—309

LAURENȚIU GOIA: Überlegungen zu einigen Bestimmungen der revidierten Normen über den Schutz gegen elektrischen Schlägen 310—315

WÄRMEVERSORGUNG

RADU POPA, VICTOR ATHANASOVICI: Mathematisches Modell und Berechnungsprogramm zur Bestimmung der besten Entwicklungsvariante eines bestehenden Fernheiznetzes 316—321

DIE GESCHICHTE DER ENERGIEWIRTSCHAFT

PAUL CARTIANU: 140 Jahre seit der Herausgabe des ersten Buches in rumänischer Sprache über die Elektrizität 322

NEUIGKEITEN

DIE ENERGIEWIRTSCHAFT WELTWEIT 298, 323—328

CHRONIK 329—331

BUCHBESPRECHUNG 332

DE PERSONIS 333

SOMMAIRE

CENTRALES THERMIQUES

TEODOR OROVEANU, ION SPULBER : Quelques considérations sur la consommation d'énergie pendant le transport des liquides par les conduits 289—291

CENTRALES HVDRAULIQUES

IOAN GHIUȚĂ, ROMULUS SFICHI : Adductions sous pression en béton armé sur site dans les centrales hydrauliques de faible puissance 292—294

CENTRALES NUCLÉAIRES

RODRIG LUCREȚEANU, TRAIAN MAUNA : Un point de vue concernant la qualité de l'eau de refroidissement des centrales nucléaires du type CANDU 295—298

RÉSEAUX ET POSTES ÉLECTRIQUES

DOREL CERNOMAZU : Contributions à l'accroissement de la sécurité de service des commutateurs de réglage de la tension des transformateurs — à puissances allant jusqu'à 1600 kVA 299—303

ADRIAN BARABOI, EMILIAN FURNICĂ : Tendances actuelles dans la technique de l'appareillage de coupure à vide 304—309

LAURENȚIU GOIA : Considérations sur les directives des standards révisés concernant la protection contre les électrocutions 310—315

CHAUFFAGE URBAIN ET INDUSTRIEL

RADU POPA, VICTOR ATHANASOVICI : Modèle mathématique et logiciel pour déterminer la variante optium de dévellopement d'un réseau existant de chauffage urbain 316—321

HISTOIRE DE L'ÉLECTRIFICATION

PAUL CARTIANU : 140 ans depuis l'apparition du premier livre en roumain sur l'électricité 322

NOUVEAUTÉS

DE L'ÉNERGÉTIQUE MONDIALE 298, 323—328

CHRONIQUE 329—331

COMPTE-RENDUS 332

DE PERSONIS 333

CONTENTS

THERMAL POWER PLANTS

TEODOR OROVEANU, ION SPULBER : Considerations About the Energy Consumption at the Transport of Liquids Through Pipelines 289—291

HYDROPOWER PLANTS

IOAN GHIUȚĂ, ROMULUS SFICHI : Pressure Culverts of In-situ Cast Reinforced Concrete at Small Hydropower Plants 292—294

NUCLEAR POWER PLANTS

RODRIG LUCREȚEANU, TRAIAN MAUNA : Point of View Regarding Cooling Water Quality of CANDU Nuclear Power Plants 295—298

ELECTRIC NETWORKS

DOREL CERNOMAZU : Contributions to the Reliability Increase of Switches for the Voltage Control of Disconnected Transformers up to 1600 kVA 299—303

ADRIAN BARABOI, EMILIAN FURNICĂ: Recent Advances in Vacuum Switchgear Technique 304—309

LAURENȚIU GOIA : Considerations About Provisions of Reviewed Standards Regarding Protection Against Electrocution 310—315

HEAT SUPPLY

RADU POPA, VICTOR ATHANASOVICI : Mathematical Model and Computer Programme for the Optimum Development Variant of an Existing District Heating Grid 316—321

THE HISTORY OF ENERGY

PAUL CARTIANU : 140 Years Since the Publication of the First Book in Romanian About Electricity 322

NEWS

ENERGY WORLDWIDE 298, 323—328

CHRONICS 329—331

REVIEW 332

DE PERSONIS 333

COLEGIUL DE REDACŢIE

Preşedinte, redactor responsabil : **dr. ing. Eugeniu Pavel**
Redactori responsabili adjuncţi : **dr. ing. Mihai G. M. Pop, dr. ing. Gheorghe Bălan, ing. Radu Opincaru**
Secretar de redacţie : **dr. ing. Teodor Popa**
Gestiunea financiară : **ec. Pompiliu Silvăşanu**

Orientări în energetică : **dr. ing. Mario Duma**

Energetica în unităţi economice : **ing. Ion Măiereanu, ing. Alexandru Florescu**
Dezvoltarea sistemelor energetice: **dr. ing. Nicolae Armencoiu, dr. ing. George Manolescu**
Conducerea şi automatica SE : **dr. ing. Victor Romert, dr. ing. Jean Constantinescu**
Centrale termoelectrice : **conf. ing. Costin Moţoiu, ing. Romeo Zbarcea**
Centrale hidroelectrice : **dr. ing. Gheorghe Luca**
Centrale nuclearoelectrice : **ing. Adrian Georgescu, prof. dr. ing. Nicolae Dănilă, ing. Mircea Tarţa**
Reţele electrice : **ing. Dinu Voinea, ing. Nicolae Georgian**
Alimentare cu căldură : **ing. Nicolae Niculescu**
Surse şi tehnologii noi : **ing. Constantin Popescu**
Tehnologii chimice în energetică. Poluare : **dr. chim. Maria Maftei**

Organizarea producţiei şi a muncii : **ing. Miron Popescu**
Terminologia energetică : **dr. ing. Iosif Cserveny**
Istoria electrificării : **ing. Paul Cartianu**
Noutăţi : **ing. Mihai Nistor, ing. Romulus Sfichi**
Centre universitare şi industriale :
Bucureşti : **conf. dr. ing. Alexandru Selischi**
Iaşi : **prof. dr. ing. Alexandru Poeată**
Timişoara : **prof. dr. ing. Viorel Negru**
Cluj-Napoca : **conf. dr. ing. Silviu Darie**

Acest număr a fost realizat cu ajutorul următorilor secretari ai grupelor de specialitate :

— **ing. Anton Roşu** — Centrale termoelectrice
— **dr. hidrol. Gheorghe Popa** — Centrale hidroelectrice
— **ing. Călin Teodorescu** — Centrale nuclearoelectrice
— **dr. ing. Traian-G. Ionescu** — Reţele electrice
— **ing. Cornel Uţă** — Alimentare cu căldură

Revista „ENERGETICA" este editată şi administrată de Institutul de Cercetări şi Modernizări Energetice prin Oficiul de Informare-Documentare pentru Energetică.
Vasile Pleşca — şef OIDE, **Ana Maria Chivu** — redactor

Revista ENERGETICA — publicaţie lunară, reflectă preocupările spirituale şi realizările materiale în domeniul energeticii. Funcţionează în conformitate cu *ROF* aprobat cu Ordinul nr. 97/1987, publicat în numărul 4/87 al revistei.

Instituţiile pot achita abonamentele în contul de virament nr. 30.11.8.01.01 — BN R.S.R. fil. sector 3. sau direct la redacţie. Costul unui abonament : 114 lei anual; costul unui exemplar : 12 lei.
Redacţia şi administraţia : Bucureşti 79619, Bd. Energeticienilor nr. 8, sect. 3
Telefon : 20.67.30

Elaboratorii de lucrări propuse spre publicare sînt rugaţi să consulte *„Îndrumările pentru întocmirea şi prezentarea lucrărilor propuse a fi publicate în revista Energetica"* şi *„Ghidul pentru avizarea lucrărilor propuse a fi publicate în revista Energetica"* apărute în nr. 12/1986, precum şi *„Planul tematic al revistei Energetica"* apărut în nr. 5/1987.

41 401

ANNOUNCEMENTS FOR READERS ABROAD

- **The review "Energetica" can send on request from publications abroad reports translated in one of the worldwide spoken languages**
- **The review "Energetica" proposes a publication exchange with similar reviews and in relating fields**
- **The review "Energetica" provides and publishes or introduces books on energy received at the editorial office. Reviews and presentations of books sent on this purpose to the editorial office can be published as well**
- **The review "Energetica" publishes on request from authors abroad reports of energy or other materials : technical and scientific news, inventions-innovations, information about technical and scientific symposia, etc. written in one of the worldwide spoken languages**
- **Readers from abroad can subscribe through : ROMPRESFILATELIA — sectorul import-export, P. O. Box 12—201 telex 10376 prsfir, Calea Griviţei nr. 64—66, Bucureşti — România.**

Tiparul : Întreprinderea Poligrafică „Informaţia", Bucureşti
str. Brezoianu 23—25 c. 1348

ORSZÁGOS MŰSZAKI INFORMÁCIÓS HÖNYVTÁR 1883

I.S.P.H.

INSTITUTUL DE STUDII ŞI PROIECTĂRI HIDROENERGETICE

29, Republicii Blvd., 79669 Bucharest,
Romania,
Phone 147270, Telex 11-443 i. s. p. h. r.

ISPH-Designing Institute with complex profile offers :

SPECIAL ACTIVITIES

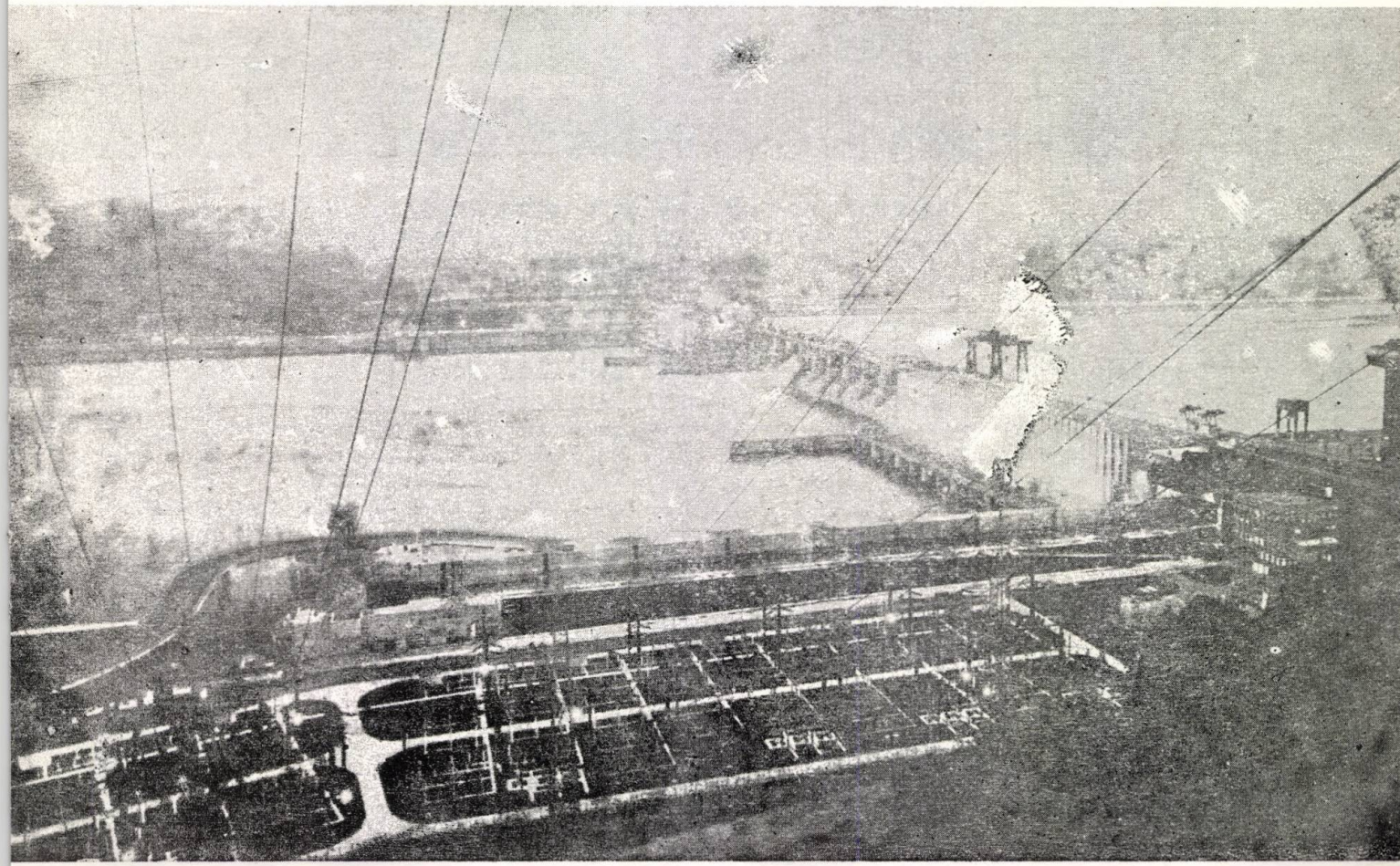
- hydrological and hydrogeological studies
- engineering-geological investigations
- geotechnical and geophysical explorations, soil and rock mechanic investigations
- topographical surveys and mapping

SPECIAL SERVICES

- preliminary studies and designs
- feasibility studies
- final designs
- detailed construction drawings
- tender documents and contracts
- inspection and supervision
- expert's reports

RIVER BASIN DEVELOPMENT STUDIES

- hydroelectric developments
- multipurpose hydraulic developments
- special hydraulic structures

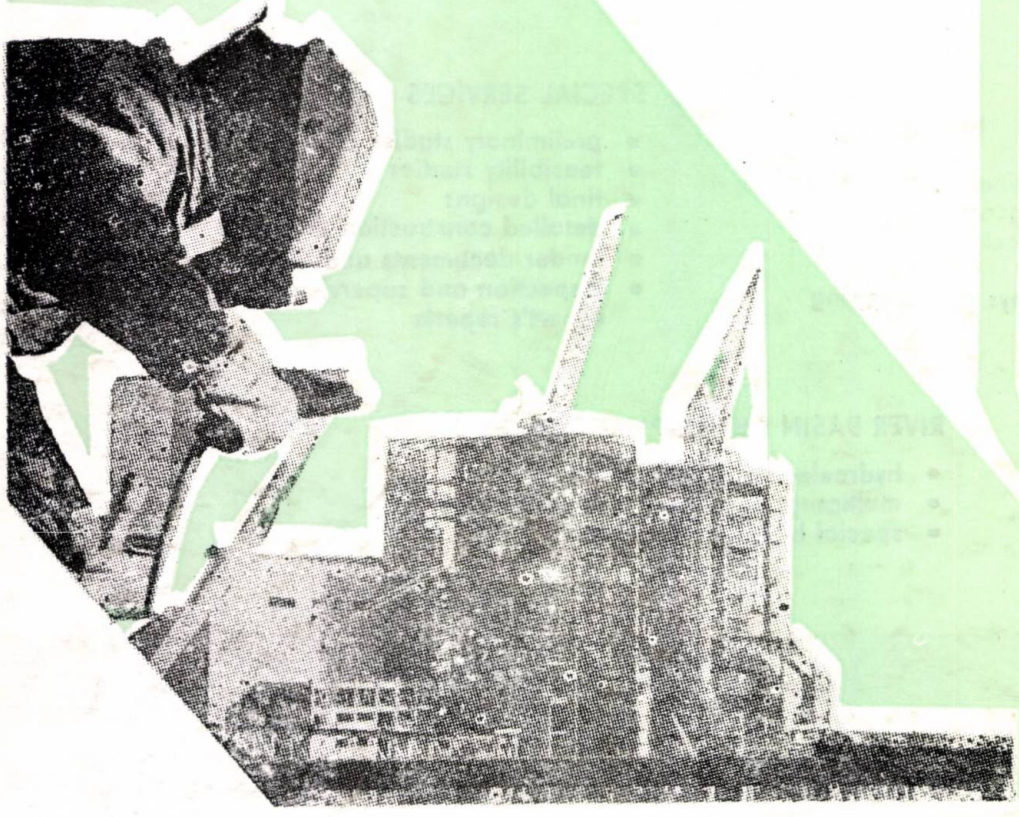


trustul
ANTREPRIZĂ GENERALĂ
energomontaj

71223 BUCUREŞTI Calea Dorobanţilor nr.103-105
Telefon 797020 telex 11335 cont 30119070524O2 BI-SMB

1949-1989

40 ANI



EXECUTĂ MONTAREA, PROBE ŞI ÎNCERCĂRI FUNCŢIONALE ŞI REPARAŢIILE CAPITALE ALE ECHIPAMENTELOR ŞI INSTALAŢIILOR ENERGETICE PENTRU CENTRALE ELECTRICE ŞI DIFERITE OBIECTIVE INDUSTRIALE

Echipamente şi instalaţii pentru centrale termoelectrice şi centrale electrice de termoficare :
- cazane de abur de mare capacitate şi parametri înalţi de funcţionare ;
- turbine cu abur de puteri unitare pînă la 345 MW ;
- instalaţii de combustibil pentru cărbuni, păcură, gaze ;
- alte instalaţii termomecanice şi mecanice aferente centralelor termoelectrice.

Echipamente şi instalaţii pentru centrale hidroelectrice şi instalaţii hidrotehnice :
- turbine hidraulice de orice tip, pînă la puteri unitare de 176 MW ;
- echipamente şi alte instalaţii pentru centrale hidro şi termoelectrice, conducte forţate ;
- echipamente şi instalaţii pentru ecluze.

Echipamente şi instalaţii electrice pentru centrale nuclearoelectrice (partea clasică), termoelectrice şi hidroelectrice, staţii electrice şi instalaţii speciale :
- instalaţii de comutaţie primară pînă la tensiunea de 400 kV inclusiv ;
- instalaţii de servicii interne în centrale şi staţii electrice ;
- instalaţii de comutaţie secundară şi de automatizare.

E 2039

MW

8

REFERALVA
R 1990 -01- 09

Cuprins

Număr special

„SURSE ȘI TEHNOLOGII NOI"

CRISTIAN ȚÎNȚĂREANU, GHEORGHE VOICU: **Aprecierea performanțelor energetice ale unui grup aerogenerator** . . . . . 337—342

MAURICIU TUDOR, SIMION CORNEL POP: **Centrale aeroelectrice în zona Carpaților de Curbură** . . . . . 342—348

ANTONIU ANGHEL: **Agregat aeroelectric de 300 kW destinat implementării în Sistemul Energetic Național** . . . . . 349—354

CRISTIAN RĂDUCANU, CONSTANTIN POPESCU: **Centrale heliotermoelectrice hibride. Variante energetice** . . . . . 354—357

STOIAN PETRESCU, TEODOR BRUSALIS, ROXANA IORDACHE, MONICA COSTEA, VALERIA PETRESCU, VICTOR VĂRZARU, CONSTANTIN MIHĂILESCU: **Receptor de radiație solară concentrată cu stocaj termic în topituri** 358—363

IOAN TURCU, CONSTANTIN POPESCU, ELENA MITRAȘCA: **Aspecte specifice privind implementarea centralelor solaroelectrice fotovoltaice în sistemul energetic** . . . . . 364—371

ANCA ZAHARIA: **Sisteme fotovoltaice de pompare** 372—375

CORNELIU CRAIU, CRISTIAN IONESCU, NICOLAE MORĂRESCU, SPERANȚA RASAN: **Utilizarea biogazului pentru producerea combinată a energiei electrice și termice** . . . . . 376—381

NOUTĂȚI

DIN ENERGETICA MONDIALĂ 357, 371, 381

energetica

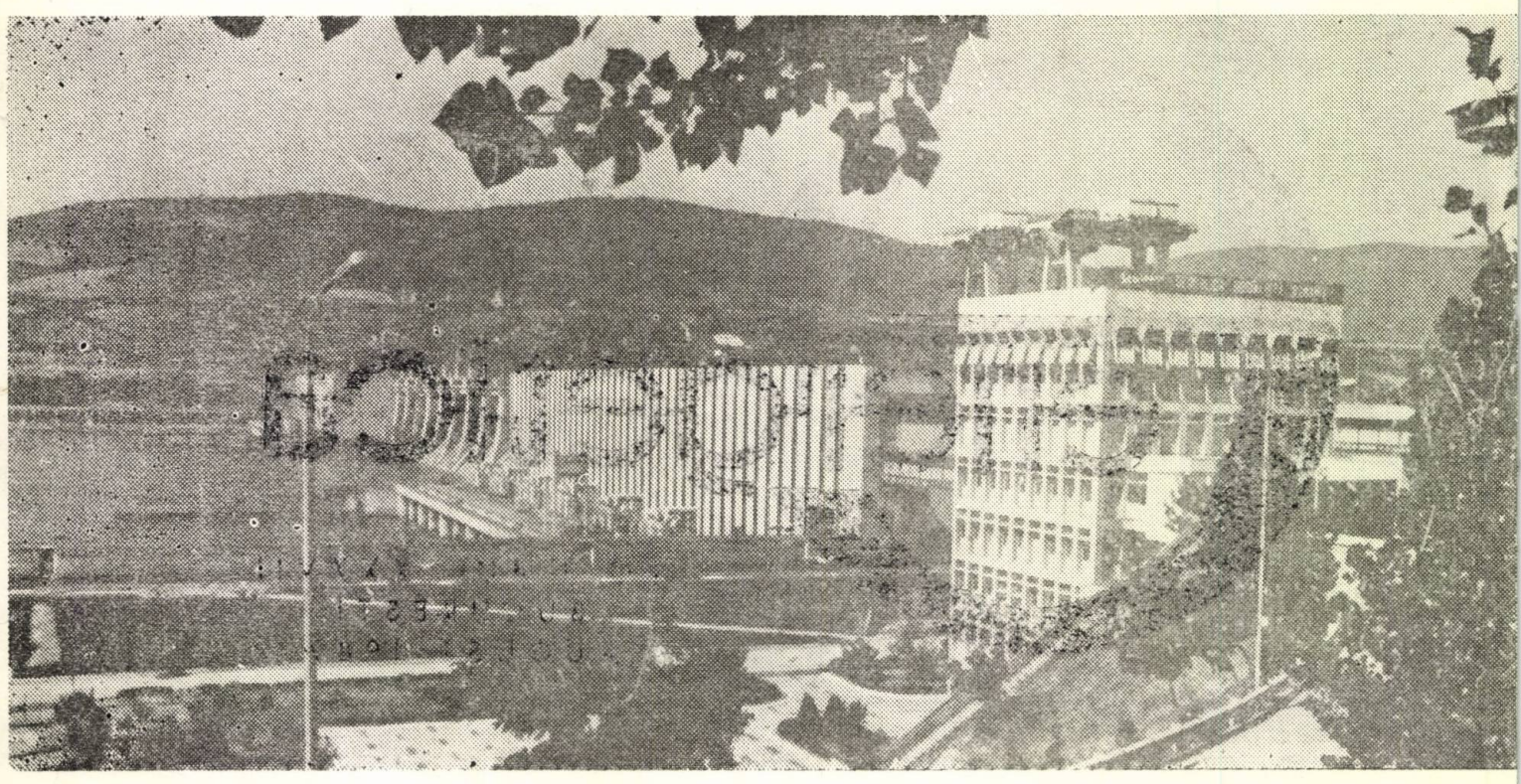
VOLUMUL XXXVII
BUCUREȘTI
AUGUST 1989

TAGCH

TRUSTUL ANTREPRIZA GENERALA DE CONSTRUCTII HIDROENERGETICE BUCURESTI

CALEA DOROBANTILOR NR. 103-105 TELEFON: 79 64 30
SECTOR 1 COD: 78.072 TELEX: 10244 P

execută în țară și în străinătate centrale hidroelectrice și lucrări hidrotehnice complexe: baraje, galerii de aducțiune, galerii de fugă, canale, diguri, noduri de presiune și lucrările de organizare tehnologică aferente.



ENERGETICA

ORGAN AL MINISTERULUI ENERGIEI ELECTRICE ȘI AL CONSILIULUI NAȚIONAL AL INGINERILOR ȘI TEHNICIENILOR DIN REPUBLICA SOCIALISTĂ ROMÂNIA

APARE SUB ÎNDRUMAREA CONSILIULUI ȘTIINȚIFIC AL INSTITUTULUI CENTRAL DE CERCETĂRI ENERGETICE

Anul 37 Nr. 8 August 1989

Aprecierea performanțelor energetice ale unui grup aerogenerator

Ing. CRISTIAN ȚÎNȚĂREANU, ing. GHEORGHE VOICU*)

Descriptori: centrale aeroelectrice

Producția de energie electrică a unui aerogenerator depinde de o multitudine de factori legați de caracteristicile vîntului în amplasament și ale amplasamentului propriu-zis.

Pentru utilizator performanțele energetice ale unui anumit grup aerogenerator într-un amplasament reprezintă un criteriu de bază în promovarea unei investiții și de aceea estimarea cît mai exactă a energiei productibile este o necesitate.

Articolul prezintă rezultatele unui studiu parametric privind influența diverșilor factori asupra valorii energiei productibile de un grup aerogenerator concret : aerogeneratorul SAG 055 tripal cu ax orizontal de 55 kW (caracteristica puterii debitate-viteza vîntului se prezintă în figura 1).

Influența cea mai mare asupra energiei medii productibile anual o are, desigur, alura caracteristicii de densitate de distribuție a vitezei vîntului, cunoscută în amplasament la înălțimea standard de 10 m, în urma măsurătorilor meteo de lungă durată, caracteristică ce poate fi identificată cu o funcție Weibull. În figura 3 se prezintă energia brută productibilă anual de grupul SAG funcție de viteza medie a vîntului $\bar{V}$ în amplasament (la înălțimea standard) și funcție de factorul de forma Weibull—K.

În diagramele din figurile 4, 5 și 6 se prezintă influența altor factori asupra energiei productibile, și anume : înălțimea la care se află axul rotoric față de sol, rugozitatea terenului, presiunea și temperatura aerului.

Rezultatele unor calcule de energie pentru cîteva zone de amplasare concrete din țară, începînd cu o zonă optimă cum este cea a Sulinei pe litoralul Mării Negre și terminînd cu o zonă de cîmpie mai puțin avantajată ca potențial eolian, sînt redate în tabelul 2.

În final se propune ca pentru compararea performanțelor energetice ale diferitelor grupuri aerogeneratoare puse la dispoziție de constructorii de echipament să se realizeze calculul energiei productibile pentru trei tipuri de amplasament caracteristice țării noastre : L (litoral), D (deal-cîmpie), M (montan), pentru care s-au stabilit coeficienții funcției de densitate de distribuție Weibull a vitezei vîntului ca și densitatea medie a aerului.

Pentru grupul SAG producția de energie electrică variază de la simplu la dublu între cele două tipuri de amplasamente cărora îi este destinat : litoral și deal.

Programul complex de calcul al energiei realizat la ICEMENERG permite o cunoaștere mai bună a condițiilor energetice de bază pentru promovarea unui anumit tip de aerogenerator într-un amplasament dat.

Wind unit electrical energy output depends on a multitude of factors related to wind characteristics on a certain site, as well as on the site itself.

In point of the user, the energy performances of a wind unit located on a certain site represent a basic criterion in support of an investment. Therefore, it is necessary to perform an as far as possibly accurate assessment of the unit expectable energy output.

The report sets forth the results of a parameter study concerning the influence cast by various factors upon the energy output rate of a certain wind unit, i.e. the three-bladed, horizontal axis, 55 kW SAG 055 wind unit (the fed power wind speed characteristic is presented within Fig. 1.

The greatest influence upon the yearly generable mean energy output is that of the shape of the wind speed distribution density characteristic recorded on the site, at a 10 m standard elevation, after performance of long term meteorological measurements. This characteristic can be determined by a Weibull function. Fig. 3 presents the gross energy output of the SAG unit as function of the V mean wind speed within the site (taken at the standard elevation) and of the Weibull —K shape factor.

Figures 4, 5 and 6 present the influence of other factors on the energy output : rotor axis height as to the ground, land rugosity, air pressure and temperature.

Table 2 presents the results of several energy computations made for a range of sites in the country, starting with an optimum zone, such as that of Sulina, on the Black Sea coast, up to a field zone, which is less advantageous in point of wind power potential.

A comparison between the energy performances of various wind units of different manufacturing is finally proposed, based on their energy output computation for three types of sites typical of our country : L (sea coast) ; D (hillfield) ; M (mountain), sites for which the coefficients of the Weibull wind speed distribution density function and the main ar density have been previously determined.

As to the SAG wind unit, its electric energy output ranges from once to twice, function of the two types of sites for which it is projected, i.e. either hill or sea-coast.

The complex energy computation programme elaborated by ICEMENERG ensures a better knowledge of the prime energy conditions to be taken into account for promotion of a certtain type of wind unit, on a given site.

* Ing. Cristian Țînțăreanu, ing. Gheorghe Voicu — Institutul de Cercetări și Modernizări Energetice, București.

Introducere

Grupurile energetice aerogeneratoare prezintă unele particularităţi funcţionale faţă de grupurile energetice clasice.

Cea mai importantă este marea variabilitate în timp a parametrilor agentului motor — vîntul, variabilitate ce se manifestă atît la nivelul secundelor şi minutelor, cît şi la nivelul lunilor şi sezoanelor şi care nu poate fi regularizată ca în cazul amenajărilor hidro. De asemenea, parametrii vîntului variază şi în spaţiu, funcţie de locul de amplasare a grupului aerogenerator în teritoriul ţării.

Pe de altă parte este semnificativă variaţia mare a randamentului general al grupului funcţie de încărcare. Practic, randamentul maxim este atins numai într-un singur punct, la o anumită încărcare (deci o anumită viteză a vîntului). Pentru alte regimuri randamentul aerodinamic al rotorului descreşte relativ rapid, antrenînd descreşterea randamentului general.*

Rezultă că energia debitată de un grup aerogenerator (într-un anumit interval de timp) variază în limite largi, funcţie de cele două caracteristici : caracteristica densităţii de distribuţie a vitezelor vîntului în amplasament şi caracteristica de echipament, putere debitată — viteza vîntului.

Performanţele energetice ale unui grup, de fapt cele care interesează în ultimă instanţă pe utilizator, se pot obţine numai prin considerarea cît mai exactă a ambelor caracteristici.

Viteza medie a vîntului într-un amplasament şi datele standard prezentate de obicei de către constructorii de echipament (puterea nominală, viteza de demaraj, viteza nominală, viteza maximă de funcţionare) sînt insuficiente pentru aprecierea şi compararea performanţelor energetice ale grupurilor aerogeneratoare. Corelarea necorespunzătoare a caracteristicii de vînt a amplasamentului cu caracteristica $P(V)$ a echipamentului poate conduce chiar la situaţii extreme, în care într-un amplasament un grup de putere nominală mai mică produce mai multă energie decît un altul de putere nominală mai mare.

Calculul exact al energiei depinde de un complex de factori şi, datorită numărului mare de date ce trebuie considerate, se poate realiza numai cu un program de calcul corespunzător.

1. Algoritmul de calcul al energiei

Energia debitată de un aerogenerator în intervalul T de timp are expresia :

$$E = T \cdot \int_{v_{dem}}^{v_{max}} \mathrm{f}(v) \cdot P(v) \cdot \mathrm{d}v, \qquad (1)$$

unde :

- $\mathrm{f}(v)$ este funcţia densitate de distribuţie a vitezei vîntului în amplasament în intervalul de timp T ;
- $P(v)$ — caracteristica putere debitată—vînt a grupului ;
- v — viteza vîntului la cota centrului suprafeţei baleiate de către rotor, mărime cuprinsă în domeniul de funcţionare între viteza vîntului de demaraj v_{dem} şi viteza maximă de funcţionare v_{max}.

Distribuţia $\mathrm{f}(v)$ se obţine din datele furnizate de măsurători de lungă durată. În ţara noastră datele necesare sînt cunoscute deocamdată numai din măsurătorile multianuale ale IMH efectuate la înălţimea standard de 10 m de la sol.

Pentru un amplasament dat este în general necesară o interpolare a acestor date de la staţiile meteo învecinate. Apoi este necesară o corecţie a caracteristicii f(v) funcţie de rugozitatea terenului şi de înălţimea de la sol la care se află centrul suprafeţei baleiate de rotor. Caracteristica $\mathrm{f}(v)$ dată empiric prin puncte poate fi identificată matematic cu o funcţie (de tip Weibull) determinată de doi coeficienţi : cel de scală C şi cel de forma K.

$$f(v) = \left(\frac{K}{C}\right)\left(\frac{V}{C}\right)^{K-1} \cdot \exp\left(-\left(\frac{V}{C}\right)^{K}\right). \qquad (2)$$

Identificarea cu o funcţie de tip Rayleigh (care este o particularizare a funcţiei Weibull pentru coeficientul de forma $K = 2$) nu este de dorit, conducînd la rezultate aproximative, deoarece în condiţiile meteo ale ţării noastre coeficientul de forma K se află în gama 1,1 ... 1,8.

Se cunoaşte că puterea debitată de un aerogenerator are relaţia :

$$P = 1/2 \cdot \rho \cdot v^3 \cdot A \cdot C_p \cdot \eta_{MT} \cdot \eta_G, \qquad (3)$$

unde :

- ρ este densitatea aerului ;
- v — viteza vîntului la cota centrului suprafeţei baleiate de către rotor ;
- A — aria suprafeţei baleiate de către rotor ;
- C_p — coeficientul de putere (randamentul aerodinamic) al rotorului ;
- η_{MT} — randamentul multiplicatorului de turaţie ;
- η_G — randamentul generatorului electric.

Dacă puterea disponibilă depăşeşte puterea nominală atunci printr-un sistem de limitare a puterii captate (cel mai adesea prin reglajul unghiului palei) puterea este limitată la valoarea nominală.

* Această consideraţie este valabilă pentru soluţia cu turaţie constantă a rotorului, soluţie larg adoptată la grupurile industriale.

În relația de mai sus C_p, η_{MT} și η_G depind și ele de încărcarea grupului și deci de viteza vîntului, iar ρ depinde de presiunea și temperatura aerului, deci este legată de parametrii meteorologici ai amplasamentului. Caracteristicile de randament ale rotorului, multiplicatorului și generatorului trebuie să fie furnizate de către constructorul de echipament în toată gama de funcționare.

Din simpla prezentare a relațiilor de mai sus se observă complexitatea implicațiilor energetice pe care le au diferiți factori. Ponderea cubului vitezei vîntului în relația (3) face ca raționamente de genul „un grup aerogenerator este bine să aibă regimul nominal de funcționare la viteze cît mai mici ale vîntului, apropiate de viteza medie a vîntului" să fie infirmate tehnic. De exemplu, pentru o zonă cu viteză medie coborîtă de 2,7 m/s, cum este cîmpia Snagovului, energia produsă în 1140 ore de funcționare în regim nominal la 3 m/s este aproape de 3 ori mai mică decît cea produsă în numai cele 250 ore de funcționare în regim nominal la viteza de 7 m/s.

2. Analiza influenței parametrilor legați de amplasament asupra energiei produse

Ca exemplu de calcul concret pentru evidențierea influenței parametrilor ce caracterizează un amplasament asupra valorii energiei debitate de către un grup s-a ales aerogeneratorul cu ax orizontal tip SAG 055 [1].

Caracteristica de echipament $P(v)$ în condițiile de densitate standard a aerului, se dă în figura 1.

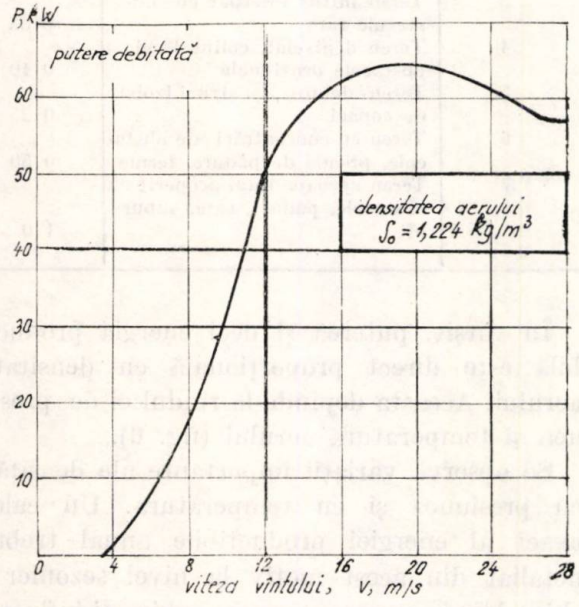


Fig. 1. Caracteristica de echipament pentru aerogeneratorul SAG 055, în condiții meteorologice standard — $P(v)$.

Desigur, cel mai important parametru ce influențează energia productibilă este viteza medie multianuală a vîntului în amplasament. Viteza medie este în legătură directă cu parametrul de scară C al funcției de distribuție Weibull, și anume :

$$\bar{V} = (0{,}88 \ldots 0{,}92) \cdot C.$$

Dar o aceeași viteză medie a vîntului poate caracteriza funcții de distribuție diferite. De aceea este necesară cunoașterea funcției de distribuție prin puncte definite pe trepte de 1 m/s sau cunoașterea, alături de viteza medie, a coeficientului de forma K din distribuția Weibull.

Un coeficient de forma l de valori mari (1,8 .... 1,9) semnifică o repartiție regulată a vitezelor vîntului și caracterizează amplasamentele de litoral. Un coeficient de forma K de valori mici (1,0 .... 1,2) semnifică probabilități mari de apariție a vîntului de viteze extreme. Un astfel de coeficient caracterizează amplasamentele submontane și unele amplasamente montane din țara noastră.

În figura 2 se arată forma unor caracteristici de densitate de distribuție a vîntului, pentru o aceeași viteză medie (4,5 m/s), dar pentru factori de formă extremi ($k = 1{,}0$ și $k = 1{,}8$).

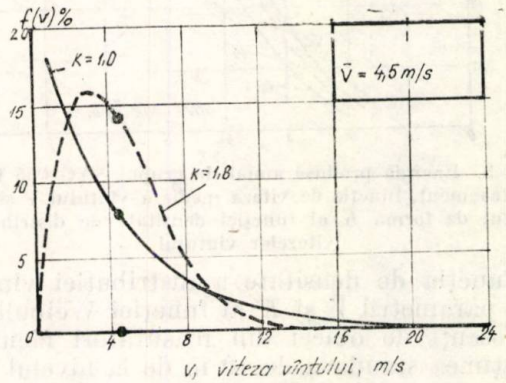


Fig. 2. Funcția densitate de repartiție a vitezelor vîntului în distribuția Weibull, pentru o aceeași viteză medie (4,5 m/s), dar coeficienți de formă diferiți.

Pentru cele două variante ale caracteristicii eoliene a amplasamentului energia calculată pentru grupul SAG 055, considerînd că ceilalți parametri rămîn neschimbați, a fost de 89 600 kWh/an (pentru $\bar{V} = 4{,}5$ m/s și $k = 1{,}0$) și de 68 500 kWh/an (pentru $\bar{V} = 4{,}5$ m/s și $k = 1{,}8$), deci o diferență notabilă. Acest plus de energie rezultă din duratele mai mari de timp cu viteze extreme, de peste 10 m/s, viteze pentru care și puterea grupului este mare.

Un studiu parametric general a arătat că pentru valori mici ale vitezei medii a vîntului

(sub 0,5 din viteza vîntului nominală a grupului) se produce mai multă energie pentru factori de formă K mici, în timp ce pentru valori mari ale vitezei medii a vîntului se produce mai multă energie pentru funcţii de distribuţie cu factori de formă mari.

Influenţa parametrilor $\bar{V}$ şi K asupra energiei debitate de grupul SAG 055 apare detaliat în diagramele parametrice din figura 3.

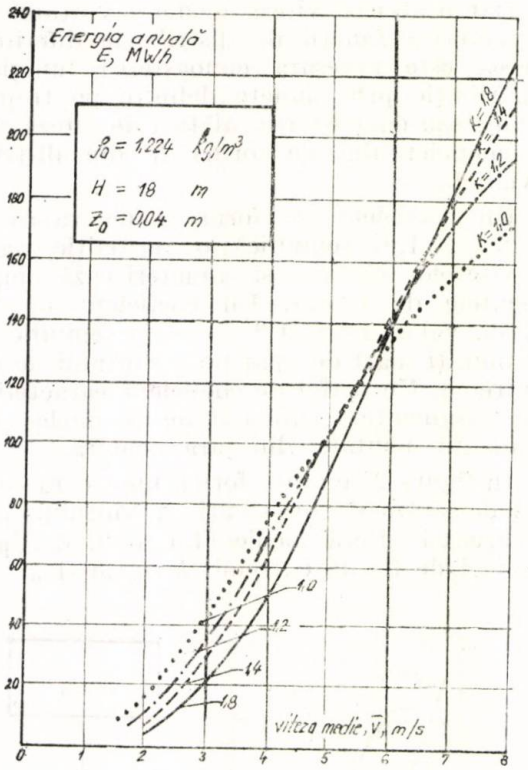


Fig. 3. Energia produsă anual de grupul SAG 055 într-un amplasament, funcţie de viteza medie a vîntului $\bar{V}$ şi coeficientul de formă K al funcţiei densitate de distribuţie a vitezelor vîntului.

Funcţia de densitate a distribuţiei vîntului sau parametrii $\bar{V}$ şi K ai funcţiei Weibull sînt cunoscuţi de obicei din măsurători făcute la înălţimea standard de 10 m de la nivelul solului. Aceste valori ale vitezei vîntului trebuie corectate şi extrapolate la înălţimea centrului suprafeţei baleiate de rotor. Metodologia de extrapolare la alte înălţimi a datelor de vînt cunoscute la înălţimea standard, constituie un subiect mult dezbătut în literatura de specialitate [2]. Algoritmul ICEMENERG a inclus o relaţie preluată de la specialiştii olandezi [3]. În figura 4 se observă influenţa înălţimii de la sol la care se află axul rotoric al grupului SAG 055 asupra energiei productibile, în cazul unui amplasament tip deal (cu $\bar{V} = 4{,}5$ m/s şi $k = 1{,}4$ definiţi la cota 10 m deasupra solului).

Evident, stabilirea înălţimii pilonului de susţinere şi respectiv a cotei de la sol a axului rotorului grupului este o problemă de optim tehnico-economic. Proiectul ICEMENERG prevede înălţimea pilonului de 18 m.

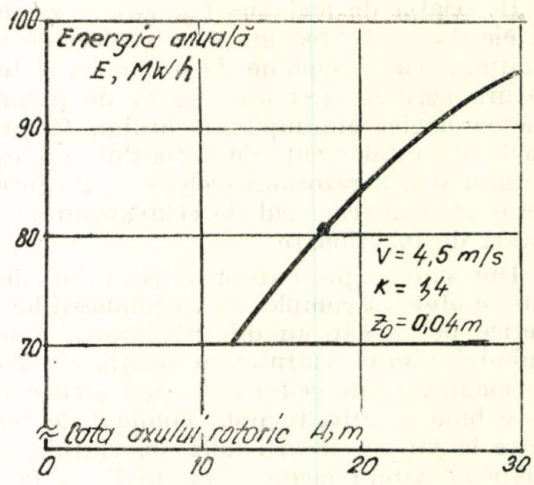


Fig. 4. Energia produsă anual de aerogeneratorul SAG 055 funcţie de cota de amplasare a axului rotoric.

Un alt factor de corecţie a vitezelor vîntului îl reprezintă rugozitatea terenului Zo. Factorul Zo are valorile şi semnificaţiile prezentate în tabelul 1 [3].

Influenţa rugozităţii terenului asupra energiei productibile este dată în figura 5.

Tabelul 1

Clasa de rugozitate	Descrierea terenului	Factor de rugozitate Zo [m]
2	Teren fără proeminenţe sau vegetaţie, teren acoperit de zăpadă	0,005
3	Teren întins înierbat cu obstacole rare	0,03
4	Teren denivelat, coline largi, obstacole ocazionale	0,10
5	Teren deluros, cu şiruri izolate de copaci	0,25
6	Teren cu concentrări de obstacole, pilcuri de pădure, ferme	0,50
7	Teren aproape total acoperit cu obstacole, păduri, sate, suburbii	1,0

În sfîrşit, puterea şi deci energia productibilă este direct proporţională cu densitatea aerului. Aceasta depinde la rîndul ei de presiunea şi temperatura aerului (fig. 6).

Se observă variaţii importante ale densităţii cu presiunea şi cu temperatura. Un calcul exact al energiei productibile anual trebuie detaliat din acest motiv la nivel sezonier şi chiar lunar, pentru a putea sesiza şi influenţa variaţia temperaturii.

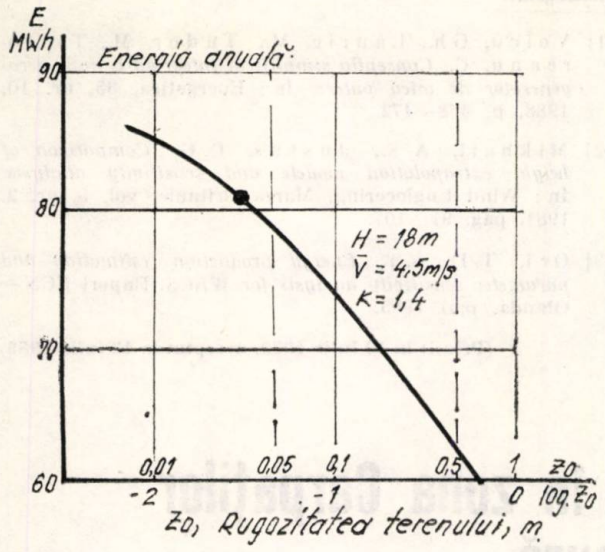


Fig. 5. Energia produsă anual de aerogeneratorul SAG 055 funcţie de rugozitatea terenului pentru o aceeaşi funcţie de densitate a vitezelor vîntului la înălţimea standard de 10 m.

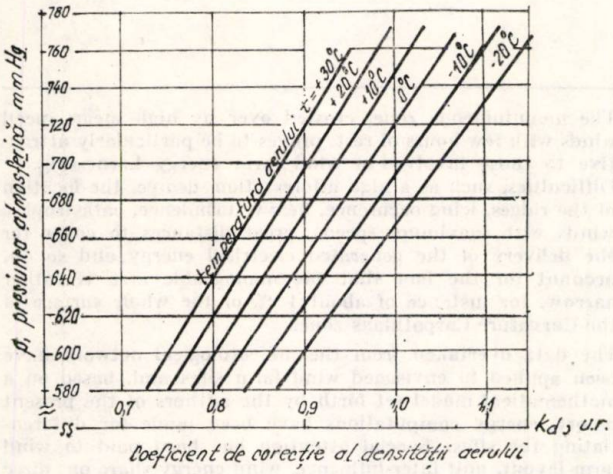


Fig. 6. Dependenţa energiei productibile cu densitatea aerului (presiunea şi temperatura): $E_{real} = K_d \cdot E$.

De exemplu, într-un amplasament de tip cîmpie, valoarea densităţii aerului într-o lună de iarnă este mai mare cu circa 9% faţă de valoarea într-o lună de vară. Densitatea medie anuală a aerului într-un amplasament de litoral este cu circa 5% mai mare decît cea într-un amplasament montan. Diferenţele de densitate între un amplasament montan şi unul litoral sînt mai reduse decît ne-am aştepta, deoarece scăderea densităţii aerului odată cu scăderea presiunii este parţial compensată de creşterea densităţii aerului cu scăderea temperaturii.

Aceste diferenţe între valorile densităţii aerului se traduc direct proporţional în variaţii ale puterii captate de un grup aerogenerator la o aceeaşi valoare a vitezei vîntului.

Pentru un anumit tip de aerogenerator se poate realiza un studiu parametric al energiei productibile funcţie de amplasament, adică în funcţie de:

— viteza medie multianuală a vitezei vîntului definită la înălţimea de 10 m de la sol;

— parametrul de forma K al funcţiei Weibull de densitate a vitezei vîntului;

— densitatea medie anuală a aerului.

În figura 3 s-au prezentat deja rezultatele unui astfel de studiu parametric pentru grupul SAG 055. Studiul este realizat în condiţiile unei înălţimi a axului rotoric de 18 m, o densitate standard a aerului de 1,224 kg/m³ şi o rugozitate a terenului în clasa 3.

Pentru alte valori ale rugozităţii sau ale înălţimii pilonului de susţinere a nacelei se corectează în consecinţă valoarea vitezei medii.

Folosind diagramele din figura 3 se află, ca exemplificare, valorile energiei productibile de grupul SAG 055 pentru cîteva amplasamente din ţară, în care se cunoaşte funcţia de densitate a vitezei vîntului (tabelul 2).

Tabelul 2

Amplasament	Viteza medie V [m/s]	Factor de formă K	Energia productibilă [MWh/an]
Sulina	7,45	1,8	199
Dealurile Tulcei	6,20	1,38	147,4
Dealurile Vasluiului	3,80	1,22	60,27
Cîmpia Snagovului	2,74	1,10	30,36

Concluzii

Calculul energiei productibile de un aerogenerator impune considerarea completă a caracteristicii densităţii de repartiţie pe paliere de viteze, a vîntului în amplasament şi a caracteristicii putere debitată — viteza vîntului. Alţi factori, cum sînt înălţimea de la sol a centrului suprafeţei baleiate de către rotor, densitatea aerului, rugozitatea terenului influenţează notabil producţia de energie.

Pentru aprecierea şi compararea performanţelor energetice ale unor grupuri aerogeneratoare se impune realizarea unui calcul al energiei productibile anual pentru cîteva amplasamente favorabile tipice ţării noastre.

Se propune tipizarea a trei categorii de amplasamente (tabelul 3).

Tabelul 3

Tip amplasament	Viteza medie V [m/s]	Factor forma K	Densitate aer [kg/m³]
L — litoral	6	1,7	1,24
D — deal-cîmpie	4	1,3	1,20
M — montan	7	1,2	1,17

Grupul SAG 055 instalat într-un amplasament tip litoral, cu caracteristicile menționate mai sus, va livra anual o cantitate de energie de 136 MWh, în timp ce la același grup instalat în zona de deal producția va scădea la jumătate (respectiv la 64 MWh/an), cu implicațiile corespunzătoare asupra indicatorilor tehnico-economici de eficiență.

De aici necesitatea unor calcule energetice cît mai exacte în fiecare amplasament, cu considerarea tuturor parametrilor menționați, calcule ce se pot realiza prin programul ICEMENERG.

Bibliografie

[1] Voicu, Gh., Lauric, M., Tudor, M., Țîțăreanu, C. *Concepția simplificat integrată a unui aerogenerator de mică putere.* În: Energetica, 35, nr. 10, 1988, p. 468–472.

[2] Mikhail, A. S., Justus, C. G. *Comparison of height extrapolation models and sensitivity analysis.* În: Wind Engineering, Marea Britanie, vol. 5, nr. 2, 1981, pag. 91–107.

[3] Oei, T. D. ș.a. *Energy production estimation and parameter sensitivity analysis for WECS.* Raport ECN–Olanda, mai 1985.

(Primit la 10 iulie 1989, acceptat la 13 iulie 1989)

Centrale aeroelectrice în zona Carpaților de Curbură

Ing. MAURICIU TUDOR, geograf SIMION CORNEL POP *)

Descriptori: centrale aeroelectrice

Zona montană, prin vitezele medii mari ale vîntului și numărul de ore redus al calmului, atrage cu preponderență atenția celor ce se ocupă cu valorificarea energiei vîntului în centrale aeroelectrice (CAE).

Dificultățile numeroase: grad mare de împădurire, dispunerea culmilor, chiciură, turbulență accentuată, viteze maxime ale vîntului catastrofale, distanțe mari pentru livrarea energiei electrice produse, fac ca suprafața amenajabilă să fie relativ restrînsă, iar în cazul Carpaților de Curbură este de circa 1% din suprafața totală.

Datele preluate din rețeaua meteorologică au fost transpuse în amplasamente CAE vizate și, pe baza unui model matematic propus de autori, s-au efectuat calculele energetice necesare diferențierii amplasamentelor. S-au luat în considerație: configurația CAE, interinfluența grupurilor, ponderea energetică a vîntului pe direcții, rugozitatea terenului, variația densității aerului, indisponibilități datorate factorilor meteorologici, indisponibilități datorate defecțiunilor.

Grupul aerogenerator destinat echipării CAE studiate este AAETO 300. Au fost depistate cinci amplasamente favorabile valorificării energiei vîntului situate la altitudini între 1500 — 1900 m.

Energia electrică productibilă (162 GWh/an) este minimală, ea putînd fi mult îmbunătățită prin extinderea CAE pe versanți, în urma unor măsurători specifice directe în amplasamente.

Tbe mountaineous zone, crossed over by high mean speed winds with few hours of rest, proves to be particularly attractive to those involved in wind farm energy harnessing. Difficulties, such as a high afforestation degree, the location of the ridges, icing occurence, heavy turbulence, catastrophic winds with maximum speeds, great distances to cover for the delivery of the generated electrical energy and so on, account for the fact that the manageable area is rather narrow, for instance of about 1 % of the whole surface of the Curvature Carpathians zone.

The data overtaken from the meteorological network have been applied to envisaged wind farm sites and, based on a mathematical model set forth by the authors of the present report, energy computations bave been made for differentiating the sites. Special attention has been paid to wind farm layout, unit inter-influence, wind energy share on direc tions, land rugosity, air density variation and to unavailabilities due to both meteorological and maintenance failures. The wind unit projected to endow the wind farm under study is of AAETO 300 type. Five sites favourable in point of wind energy harnessing have been selected at altitudes ranging between 1500 — 1900 m.

The generable electrical energy (162 GWb/year) is minimum, but it can be improved by wind farm extension over the slopes, based on the previous performance of direct specifical measurements within the sites.

Introducere

Zona montană, datorită vitezelor mari ale vîntului și frecvenței deosebite în intervalul de funcționare a grupurilor de conversie, a atras și atrage în continuare atenția celor ce se ocupă cu valorificarea energiei vîntului în centrale aeroelectrice (CAE).

Dificultățile numeroase cum sînt: gradul mare de împădurire a suprafețelor, vitezele maxime ale vîntului catastrofale, depunerile și chiciura intensă, distanțele mari pentru evacuarea puterii electrice produse fac ca zonele amenajabile să fie relativ restrînse, iar în cazul Carpaților de Curbură se reduc la circa 1% din suprafața totală.

Lipsa datelor meteorologice directe în amplasamente a impus realizarea unor metodologii

* Ing. Mauriciu Tudor, geograf Simion Cornel Pop — Institutul de Cercetări și Modernizări Energetice, București

de transpunere a parametrilor vîntului, ce au fost integrate în modelul matematic prelucrat pe calculator, pentru evaluarea potențialului energo-economic al acestora.

1. Premise geografice și meteorologice

Sectorul sudic al Carpaților Orientali, între valea Oituzului și valea Prahovei, formează grupa Carpaților de Curbură (fig. 1). Pe direc-

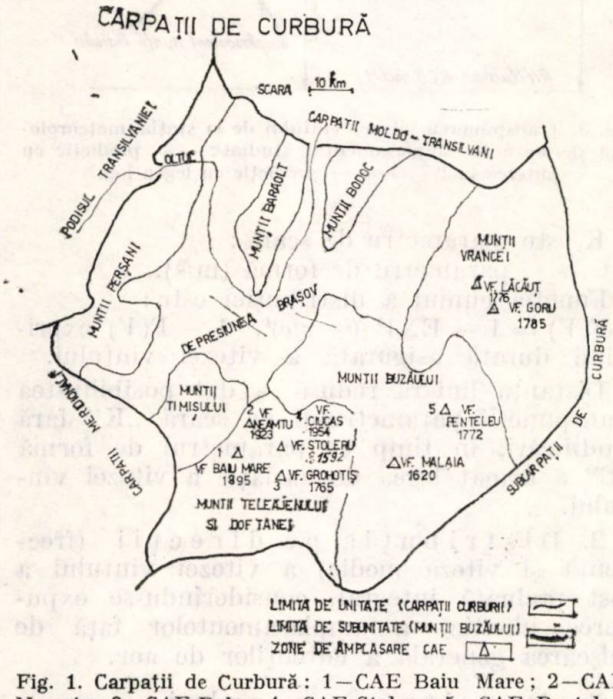


Fig. 1. Carpații de Curbură: 1—CAE Baiu Mare; 2—CAE Neamțu; 3—CAE Bobu; 4—CAE Stoleru; 5—CAE Penteleu.

ția N—S se întind pe aproximativ 110 km iar de la est la vest pe circa 100 km, acoperind o suprafață muntoasă de circa 5 800 km², din care aproximativ 1% este gol alpin favorabil amplasării CAE.

Altimetric, în cuprinsul lor se diferențiază Carpații Curburii Interne (cu înălțimi de 1 000—1 200 m, formați din Munții Perșani, Baraolt, Bodoc) și Carpații Curburii Externe (cu maxime altimetrice 1 700 — 1 900 m, incluzînd Munții Vrancei, Buzăului, Teleajenului, Doftanei și Timișului). Datorită fragmentării accentuate, precum și prezenței pădurilor pînă la altitudini mari (1 400 — 1 500 m) pot fi utilizate numai culmile (1 700 — 1 900 m), precum și micile platouri alpine înalte.

Evaluarea directă a resurselor energetice ale vîntului s-a făcut pe baza observațiilor curente pe o perioadă multianuală, efectuate la stațiile meteorologice din rețeaua Consiliului Național al Apelor [9].

În întreaga zonă există o singură stație meteorologică alpină, Lăcăuț — 1 777 mdM, plasată în N—E zonei analizate, astfel că pentru partea vestică a zonei au fost preluate date de la stația Vîrful Omu — 2 505 mdM din Munții Bucegi, stație care prin poziția sa poate fi considerată reprezentativă și pentru zona înaltă a sectorului vestic al Carpaților de Curbură.

Roza energetică a vîntului, calculată cu datele de vînt multianuale de la cele două stații de referință, arată că direcția energetică dominantă pe culmile alpine, cu expunere directă la mișcarea generală atmosferică este vest, cu adiacentele NV și SV, însumînd circa 75% din energia globală disponibilă (fig. 2).

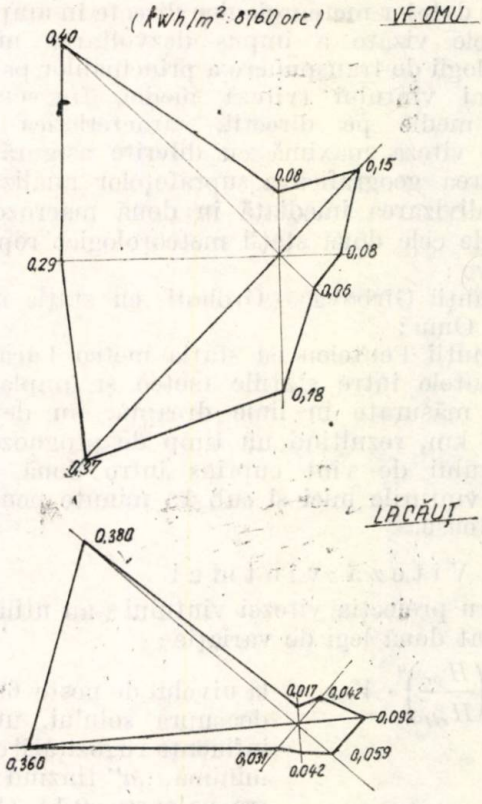


Fig. 2. Roza energetică a vîntului la stațiile meteorologice: Vf. Omu și Lăcăuți.

2. Zone favorabile valorificării potențialului eolian

Dintr-o primă analiză a datelor energoeoliene și a condițiilor specifice amplasării CAE (suprafețe despădurite, pante reduse, expunere bună la curentul de aer dominant), au fost selectate cîteva zone favorabile valorificării potențialului eolian, în cadrul lor delimitîndu-se subzone ce s-au constituit în CAE:

1. Amplasamentul Baiu Mare, situat în partea sudică a masivului Gîrbova, care cuprinde Vf. Gagu Mare, Vornicu, Vf. Ciinelui, Vf. lui Drăgan, Baiu Mare, Cazacu, grupurile centralei fiind situate pe linia de maximă înălțime a interfluviului dintre valea Prahovei și valea Doftanei.

2. Amplasamentul Neamțu, situat la nord de amplasamentul Baiu, are o ușoară orientare NNE—SSV și cuprinde Vf. Unghia Mare, Vf. lui Rus, Vf. Steviei, Vf. Neamțu și Vf. Paltinul.

3. *Amplasamentul Bobu* din masivul Grohotiș cuprinde două platouri, unul situat la 1 750 m alcătuit din Vf. Bobu și Muntele Grohotiș și altul la 1500 m ce se dezvoltă pe o suprafață ușor înclinată V—E.

4. *Amplasamentul Stoleru-Vaida* este platoul munților cu același nume.

5. *Amplasamentul Penteleu* ocupă golul alpin de peste 1 650 m altitudine din jurul Vîrfului Penteleu și se continuă spre Vf. Crucea Fetei cu o ramificație pe Muntele Viforît.

Lipsa datelor meteorologice directe în amplasamentele vizate a impus dezvoltarea unor metodologii de transpunere a principalilor parametri ai vîntului (viteză medie, frecvență, viteză medie pe direcții, caracteristica de durată, viteza maximă cu diferite asigurări).

Plasarea geografică a suprafețelor analizate indică divizarea imediată în două macrozone legate de cele două stații meteorologice reprezentative :

— Munții Gîrbova — Grohotiș cu stația meteo Vf. Omu ;

— Munții Penteleu cu stația meteo Lăcăuț.

Distanțele între stațiile meteo și amplasamente, măsurate în linie dreaptă, nu depășesc 30 km, rezultînd un timp de prognozare a frontului de vînt cuprins între două ore pentru vînturile mici și sub 15 minute pentru cele intense.

2.1. Viteza vîntului

Pentru proiecția vitezei vîntului s-au utilizat combinat două legi de variație :

$$V_{pr} = \left(\frac{H_{pr}}{H_{ref}}\right)^{a} \cdot V_{ref}$$

la nivelul de peste 60 m deasupra solului, unde influența rugozității este minimă, „a" tinzînd către valoarea 0,14 (1/7) utilizată în calcule ;

și

$$V_{pr} = \frac{\ln (H_{pr}/z_0)}{\ln (H_{ref}/z_0)} \cdot V_{ref}$$

pentru nivelul axului rotor unde influența rugozității „z_0" este semnificativă.

Frost („Wind Fields Over Terrain Irregularities" — 1975) enumeră cîteva valori reprezentative ale rugozității suprafeței pe diferite terenuri cu diverse tipuri de vegetație (cîmpie acoperită cu zăpadă 4,9 . 10^{-3}, iarbă mică, stepă 0,032, teren plat 0,021, culturi diverse 0,064 etc.).

Metodologia de transpunere este ilustrată în figura 3 și a fost utilizată pentru viteze ale vîntului între 3 și 40 m/s în principalele culmi din amplasamente selecționate și în trepte coborîtoare de cîte 40 m pornind de la înălțimea vîrfului.

În ceea ce privește durata asigurată a vitezei vîntului, s-a utilizat o reprezentare statistică de tip Weibull cu doi parametri, unde :

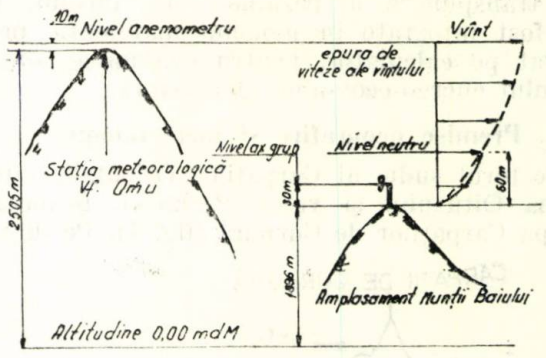


Fig. 3. Transpunerea vitezei vîntului de la stația meteorologică de bază în amplasamentul studiat : ---- predicție cu puterea la 1/7 ; ——— predicție cu legea log.

K este parametru de scară ;

C — parametru de formă (m/s).

Funcția cumul a distribuției este :

$F(V) = 1 - \mathrm{EXP}\ (-v/c)^k$, $1 - F(V)$ exprimînd durata asigurată a vitezei vîntului.

Distanța liniară redusă a dat posibilitatea transpunerii parametrului de scară „K" fără modificări, în timp ce parametrul de formă „C" a urmat legea de variație a vitezei vîntului.

2.2. Distribuția pe direcții (frecvență și viteză medie) a vitezei vîntului a fost preluată integral, considerîndu-se expunerea identică a amplasamentelor față de mișcarea generală a curenților de aer.

2.3. Densitatea aerului

Pentru raportarea pe verticală a densității aerului Hütte în „Manuel de l'ingenieur" indică relația :

$$RO = RO_{REF} \cdot (0{,}9)^{h},$$

unde : RO_{REF} = 1,226 kg/m³, densitatea aerului în atmosferă standard la cota 0 mdM ;

h — altidudinea locului, în km.

Relația fiind generală (neexprimînd dependența de presiunea atmosferică și temperatură) a fost corectată prin utilizarea unui coeficient de transpunere (fig. 4) :

$$C_D = \frac{RO_{ampl}}{RO_{st}},$$

ce exprimă variația densității cu înălțimea, față de stația de referință.

3. Centrale aeroelectrice analizate

Echiparea CAE a fost analizată pornind de la grupul aerogenerator preconizat a fi omologat pînă în anul 1990 [7], propus de

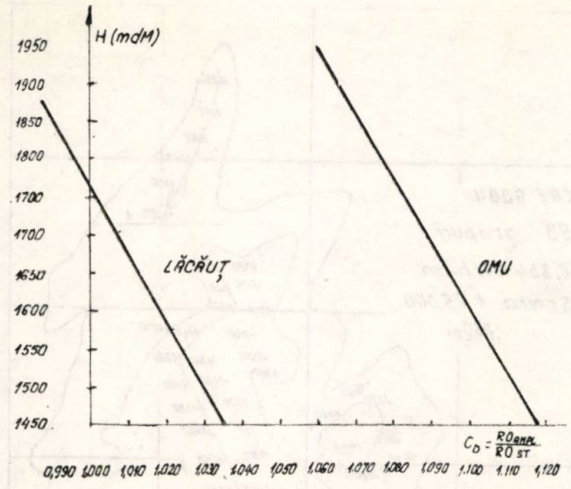


Fig. 4. Variația coeficienților de transpunere a densității aerului în amplasamente, cu altitudinea.

proiectant CCSITEH Timișoara, grup aerogenerator cu rotor în curent liber ($D = 30$ m), tripal, plasat amonte, care poate furniza o putere nominală de 300 kW, la o viteză a vîntului de 12 m/s. Aerogeneratorul funcționează între 6 m/s și 30 m/s viteza vîntului, în gama 12 — 30 m, realizînd palierul puterii nominale. Întreg ansamblul (inclusiv stîlpul de susținere) cîntărește 75 t și are valoarea limită, ca produs de serie, 6 mil. lei (conform NC pentru produs aprobată).

Amplasarea grupurilor aerogeneratoare în teren s-a făcut urmărind valorificarea maximă a potențialului vîntului funcție de particularitățile zonei.

În acest context au fost alese :

a) culmile cu dispunere perpendiculară sau oblică dată de direcția principală energetică — V — unde au fost amplasate unul sau două șiruri de instalații aerogeneratoare dispuse în lungul culmii ;

b) micile platouri montane cu expunere favorabilă, pe cît posibil neinfluențate de variațiile de relief adiacente, unde s-au amplasat șiruri paralele de grupuri aerogeneratoare, perpendiculare pe direcția principală energetică.

S-a evitat utilizarea pantelor mai mari de 30° din motivul lipsei datelor directe în amplasament și deci necunoașterii interinfluenței locale (abrupturi, împăduriri etc.).

Distanța între grupuri, cît și între șiruri a fost aleasă de 8 D = 240 m, avîndu-se în vedere fragmentarea accentuată a terenului și deci posibila accentuare a turbulenței curentului de aer care duce la diminuarea energiei productibile.

Configurațiile alese pentru cele cinci amplasamente analizate (fig. 5 — fig. 9) sînt minimale avînd în vedere că lipsa datelor directe privind variația vitezei vîntului a restrîns suprafața utilizabilă la acele zone în care s-au putut face extrapolări credibile.

În ceea ce privește evacuarea energiei soluția aleasă a fost cea utilizată la CAE Semenic [8] și Delta Dunării [6], adică 4 — 5 grupuri debitînd în 0,4 kV au fost legate la un punct de conexiune cu transformator 0,4/20 kV. În centrul geometric al fiecărei amenajări se va realiza o stație electrică de 110/220 kV cu 2 — 3 trafo de 25 MVA legate la sistemul electroenergetic printr-o linie de 110 kV.

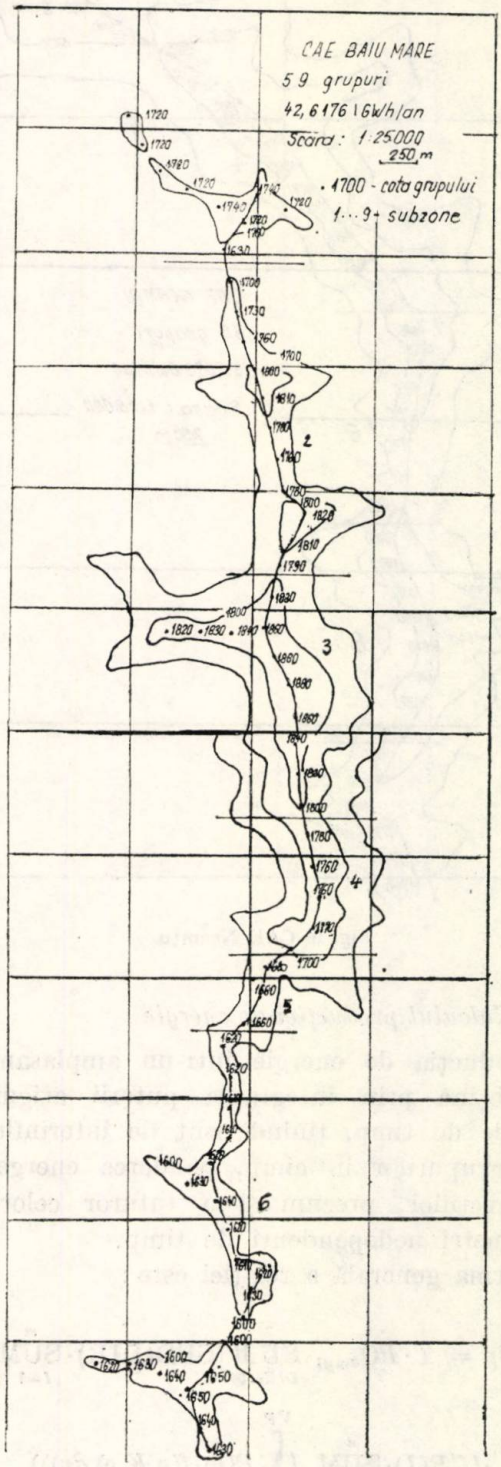


Fig. 5. CAE Baiu Mare.

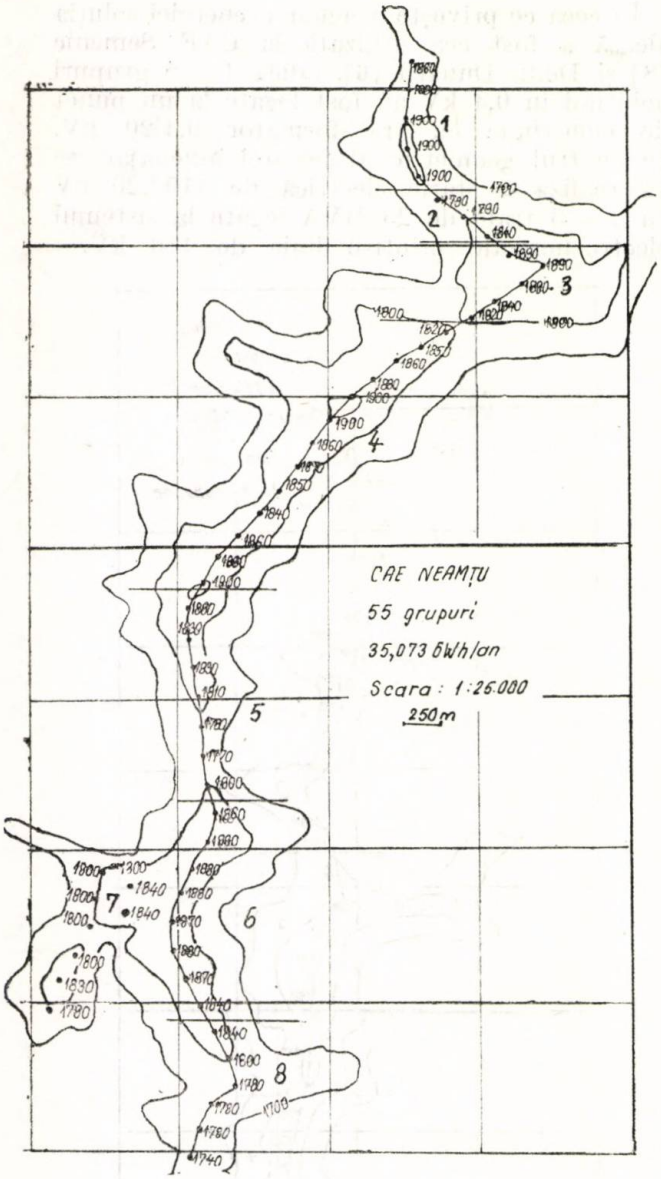


Fig. 6. CAE Neamţu.

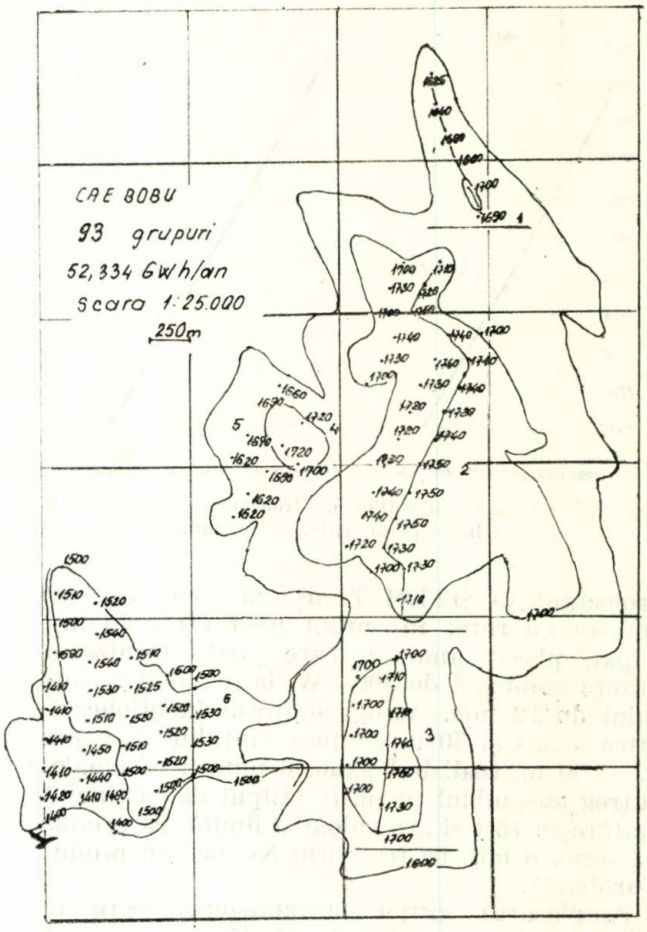


Fig. 7. CAE Bobu.

3.1. Calculul producţiei de energie

Producţia de energie într-un amplasament se obţine prin integrarea puterii asigurate funcţie de timp, ţinînd cont de interinfluenţele grupurilor în cîmp, ponderea energetică a direcţiilor, precum şi a tuturor celorlalţi parametri nedependenţi de timp.

Forma generală a relaţiei este :

$$Ep = T \cdot RO_{ampl} \cdot \overset{7}{\underset{DIR=\emptyset}{SUM}} (\mathrm{CPD(DIR)} \cdot \overset{m}{\underset{I=1}{SUM}} \cdot$$

$$\cdot (CR(I) \cdot \overset{n}{\underset{I=1}{SUM}} (\int_{VD}^{VP} P(v) \cdot f(v,K,c)\, dv)))$$

unde :

T este durata analizată, în ore (pentru un an $T = 8760$);

RO_{ampl} — densitatea aerului în amplasament;

DIR — direcţia geografică ($DIR = \emptyset$ este N, $DIR = 2$ este E etc.);

$CPD(DIR)$ — coeficient de pondere energetică al direcţiei :

$$CPD(DIR) = \frac{\overset{7}{\underset{DIR=\emptyset}{SUM}} (\bar{V}^3\,(DIR) \cdot f\,(DIR))}{V^3_{MED}},$$

unde : $\bar{V}^3\,(DIR)$ este viteza medie a vîntului pe direcţie (m/s);

$f\,(DIR)$ — frecvenţa vîntului pe direcţie;

V_{MED} — viteza medie a vîntului (m/s) la staţia meteorologică conexă;

$CR\,(I)$ — coeficient de corecţie a energiei funcţie de poziţia şirului în configuraţia CAE pe direcţia de atac a vîntului. Exprimă gradul de interinfluenţare al grupurilor.

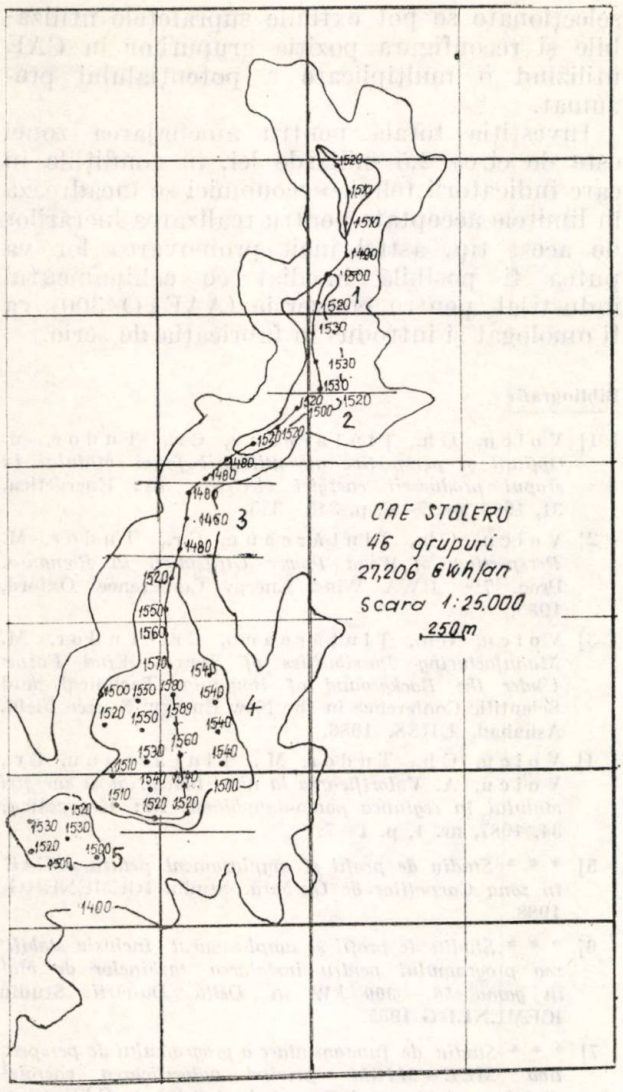


Fig. 8. CAE Stoleru

Templin şi Crofoord în „An Estimation of Interaction Windmills in Windspread Arrays" analizează creşterea rugozităţii şi dispunerea energiei în profunzimea unui cîmp de aerogeneratoare dispus în şiruri paralele, realizînd şi diagrama de variaţie a puterii specifice pe grup funcţie de poziţia grupurilor în şiruri (fig. 10), pentru o suprafaţă plată.

I — numărul de ordine al şirului din CAE;

y — numărul de ordine al grupului în cadrul şirului;

$P(v)$ — puterea produsă de aerogenerator la o viteză v a vîntului;

$f(v)$ — funcţia de densitate Weibull.

Energia determinată prin relaţia de mai sus trebuie corectată cu încă un coeficient de dispo-

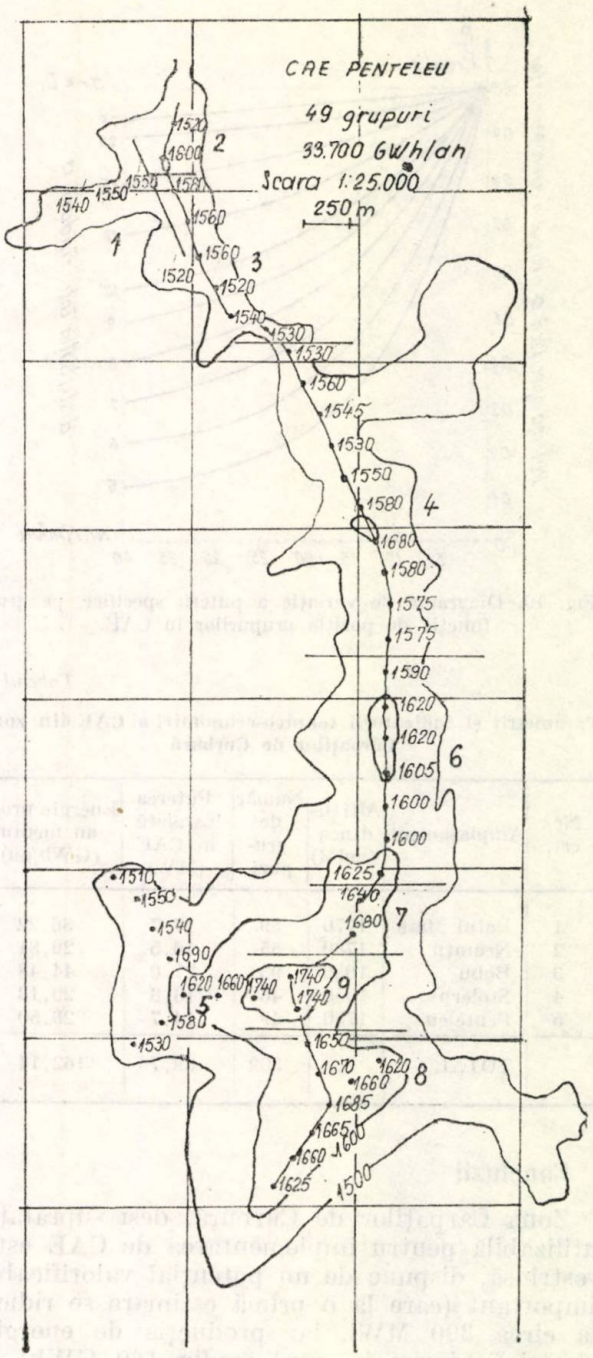


Fig. 9. CAE Penteleu.

nibilitate ce ţine cont de nefuncţionarea din cauze naturale (chiciură, gheaţă etc.) sau defecţiuni, apreciat pe baza datelor meteorologice şi analizei comportării în exploatare a grupurilor aerogeneratoare ICEMENERG la 0,85.

Corelînd producţia de energie electrică cu valorile economice — calculate în această etapă pe baza unor indicatori globali — s-au calculat indicatorii tehnico-economici principali, ce se înscriu în limitele acceptate de legislaţia în vigoare (PE 011/1982) (tabelul 1).

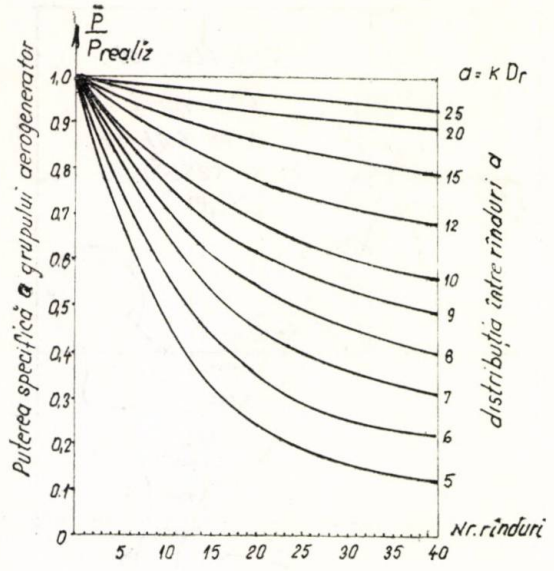


Fig. 10. Diagrama de variație a puterii specifice pe grup funcție de poziția grupurilor în CAE.

Tabelul 1

Parametrii și indicatorii tehnico-economici ai CAE din zona Carpaților de Curbură

Nr. crt.	Amplasament	Altitudinea (mdM)	Număr de grupuri	Puterea instalată în CAE (MW)	Energie prod. an mediu (GWh/an)
1	Baiul Mare	1770	59	17,7	36,22
2	Neamțu	1780	55	16,5	29,81
3	Bobu	1650	93	27,0	44,48
4	Stoleru	1550	46	13,8	23,13
5	Penteleu	1750	49	14,7	28,50
	TOTAL	—	302	89,7	162,14

Concluzii

Zona Carpaților de Curbură, deși suprafața utilizabilă pentru implementarea de CAE este restrînsă, dispune de un potențial valorificabil important (care la o primă estimare se ridică la circa 300 MWi, iar producția de energie electrică ajunge în anul mediu 160 GWh) și de condiții geografice adecvate realizării unor astfel de centrale electrice.

De notat că prin realizarea unor măsurători directe ale parametrilor vîntului în teritoriile selecționate se pot extinde suprafețele utilizabile și reconfigura poziția grupurilor în CAE utilizînd o multiplicare a potențialului prezumat.

Investiția totală pentru amenajarea zonei este de circa 2,5 miliarde lei, în condițiile în care indicatorii tehnico-economici se încadrează în limitele acceptate pentru realizarea lucrărilor de acest tip, astfel încît promovarea lor va putea fi posibilă imediat ce echipamentul industrial pentru conversie (AAETO 300) va fi omologat și introdus în fabricația de serie.

Bibliografie

[1] Voicu, Gh., Țîțăreanu, Cr., Tudor, M. *Opțiuni și perspective ale utilizării forței vîntului în scopul producerii energiei electrice.* În: Energetica, 31, 1983 nr. 7—8, p. 345—356.

[2] Voicu, Gh., Țîțăreanu, Cr., Tudor, M. *Perspectives of Wind Power Utilisation in Romania.* Proc. 7th BWA Wind Energy Conference Oxford, 1985.

[3] Voicu, Gh., Țîțăreanu, Cr., Tudor, M. *Manufacturing Possibilities of Several Wind Farms Under the Background of Romania.* Technical and Scientific Conference in the New Energy Source Field, Ashabad, URSS, 1986.

[4] Voicu, Gh., Tudor, M., Țîțăreanu, Cr., Voicu, A. *Valorificarea la nivel industrial a energiei vîntului în regiunea ponto-danubiană.* În: Energetica, 34, 1987, nr. 1, p. 1—7.

[5] * * * *Studiu de profil și amplasament pentru o CAE în zona Carpaților de Curbură.* Studiu ICEMENERG, 1988.

[6] * * * *Studiu de profil și amplasament inclusiv stabilirea programului pentru instalarea turbinelor de vînt în gama 50 — 300 kW în Delta Dunării.* Studiu ICEMENERG 1985.

[7] * * * *Studiu de fundamentare a programului de perspectivă MEE—MICM privind valorificarea energiei vîntului prin conversie în energie electrică în CAE racordate la SEN.* Studiu ICEMENERG 1984.

[8] * * * *Studii de amplasare pentru CAE în Munții Semenicului.* Studiu ICEMENERG 1986.

[9] * * * *Variația vitezei vîntului în zona munților Carpații de Curbură.* Studiu IMH.

[10] * * * *Studiu de racordare la SEN a grupurilor de aerogeneratoare de 50—300 kW prevăzute să se instaleze în Deltă.* Studiu ISPE, 1985.

[11] * * * *Fenomene de depunere de chiciură în zona montană la altitudini mai mari de 2000 m și propuneri de măsuri pentru prevenire. Variația densității aerului și modul de determinare.* Studiu IMH, 1981.

(Primit la 10 iulie 1989, acceptat la 13 iulie 1989)

Agregat aeroelectric de 300 kW destinat implementării în Sistemul Energetic Național

Dr. ing. ANTONIU ANGHEL*)

Descriptori : centrale aeroelectrice

Lucrarea prezintă parametrii și soluțiile constructive adoptate pentru agregatul aeroelectric de 300 kW, pilot industrial, destinat implementării în Sistemul Energetic Național.

Concepția agregatului are la bază experiența dobîndită pînă în prezent în realizarea, montarea și testarea soluțiilor pe agregatele model experimentale de 5 kW ; 30 kW și 300 kW, ale căror soluții constructive și funcționale sînt prezentate în lucrare, și de asemenea experiența pe plan mondial în acest domeniu.

Agregatul pilot industrial de 300 kW este conceput să funcționeze în domeniul de variație a vitezei vîntului 3,5—25 m/s, viteza de supraviețuire 80 m/s. Grupul va atinge puterea nominală de 300 kW la o viteză a vîntului de 12,6 m/s. Corelat cu soluțiile și tendințele pe plan mondial în acest domeniu, agregatul este echipat cu generator asincron, rotor cu pale reglabile acționate de către un mecanism electromecanic. Rotorul are diametrul $D = 30$ m ; $n = 50$ rot/min și este echipat cu trei pale realizate din poliester armat cu fibră de sticlă. Agregatul este conceput să funcționeze în regim automat și manual. Conducerea agregatului se realizează după viteza vîntului (pornire și oprire), iar reglarea palelor rotorului pe baza puterii, în domeniul de variație (0,8 — 1,1) din puterea nominală.

Agregatul este protejat la ambalare, suprasarcină, scurtcircuit, depășirea temperaturii din nacelă, respectiv lagăre și la depășirea unui nivel maxim admis de vibrații. Poziționarea nacelei pe direcția vîntului se realizează continuu în domeniul $v_{min} < v < v_{max}$, sistemul de orientare fiind acționat de traductorul de direcție vînt.

Conectarea la Sistemul Energetic Național, respectiv deconectarea, se asigură automat.

The report presents the parameters and the structural solutions employed for erection of an industrial 300 kW wind unit projected for connection to the national power grid. Unit conception is based on the experience gained up to now in the country with the manufacturing, mounting and testing of 5, 30 and 300 kW experimental models (their structural and operating solutions being also included within the report), as well as on the world experience in the field. The unit is projected to operate within the 3.8 — 25 m/s wind speed range and at a 80 m/s survival speed. It is designed to reach a 300 kW rated power at a 12.6 m/s wind speed. In correlation with the world solutions and trends in the field, this wind unit is fitted with an induction generator and with a rotor provided with adjustable blades driven by an electromechanical engine. The 30 m diameter and 50 rev./min. rotor disposes of three blades made of glass fibre — reinforced polyester. The unit is designed to operate under both automatic and manual regime. Its control is performed according to wind speed (unit start up and stop), while rotor blade adjustment is function of the power output within a rated power variation range of 0.8 — 1.1.

The unit is protected against racing, overloading, short-circuiting, nacelle and bearing overheating and exceeding of the maximum allowable vibration level. Nacelle yawing is continuously achieved in the range between $V_{min} < V < V_{max}$ the yawing system being driven by the wind direction transducer.

Introducere

În componența unui agregat aeroelectric cu ax orizontal intră : rotorul cu pale (care pot să fie fixe sau reglate), sistemul de transmitere a puterii rotorului eolian (în care intră arborele și multiplicatorul, mașina electrică, instalația electrică de forță și comandă), sistemele de protecție, traductoare de măsură a mărimilor primare rezultate din vînt (viteza și direcția vîntului), sistemele de conducere.

Diagrama de funcționare a unui agregat aeroelectric este prezentată în figura 1.

Principalele componente ale unui agregat aeroelectric de care depinde soluția de ansamblu sînt rotorul, în special palele, și mașina electrică. Din motive de simplitate și cost aproape toate sistemele de conversie a energiei vîntului utilizează generatoare asincrone.

Caracteristica putere — viteza vîntului, pentru o turație constantă a rotorului, este de forma celei din figura 2.

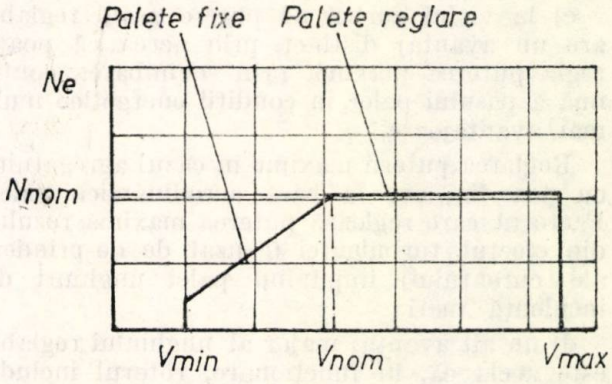


Fig. 1. Diagrama de funcționare a unui agregat aeroelectric.

Deversarea puterii peste valoarea nominală se poate realiza fie prin reglarea unghiului palelor, fie prin aerodinamica palei (în acest caz rotorul este cu pale fixe).

Avînd în vedere implicațiile rotorului cu pasul fix sau reglabil asupra soluțiilor constructive și funcționale ale agregatelor aeroelectrice, în construcția acestora se pune desigur

* Dr. ing. Antoniu Anghel — Centrul de Cercetare Științifică și Inginerie Tehnologică pentru Echipamente Hidroenergetice — Timișoara

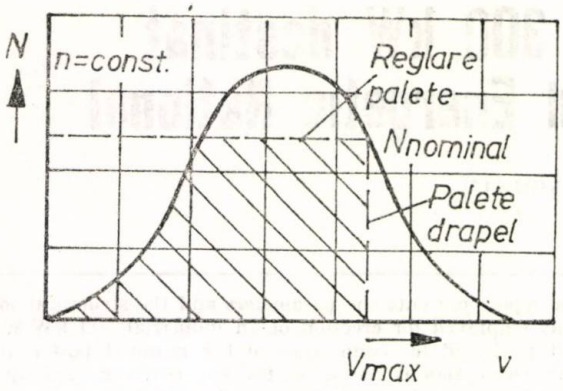


Fig. 2. Caracteristica putere-viteza vîntului, pentru turația rotorului constantă.

problema alegerii soluției pentru rotor: cu pale fixe sau reglabile.

Avantajele energetice și funcționale adăugate agregatului de către pasul variabil față de cel fix, sînt următoarele:

a) unghiul de atac al palei este întotdeauna optim energetic la orice viteză a vîntului față de cel fix, care este optim doar pentru o anumită valoare a vitezei vîntului;

b) unghiul reglabil are avantaje la pornire; o mașină cu pas reglabil pornește la valori mai mici ale vitezei vîntului, iar randamentul maxim poate fi atins într-o gamă mai largă de viteze. O pală fixă poate fi astfel montată încît să se atingă randamentul maxim la valori ale vitezei vîntului mult mai mici, dar atunci viteza de pornire este mare. Rezultă de aici necesitatea unui montaj de compromis privind valoarea unghiului de instalare în cazul rotorului cu pas fix, acesta fiind impus, în primul rînd, din considerente de pornire;

c) la vîrful curbei de putere pasul reglabil are un avantaj distinct, prin aceea că poate regla puterea maximă prin schimbarea continuă a pasului palei, în condiții energetice mult mai avantajoase.

Reglarea puterii maxime în cazul agregatului cu pas fix, are la bază aerodinamica palei. Factorul care reglează puterea maximă rezultă din efectul turbulenței (cauzat de desprinderi ale curentului) impunînd palei unghiuri de incidență mari;

d) un alt avantaj major al unghiului reglabil este acela că, în funcționare, rotorul include și efectele aerodinamice rezultate din umiditate, densitatea aerului, temperatură, altitudine și o serie de alți factori ce pot influența performanța aerodinamică a rotorului, efecte care pot fi ajustate prin pasul reglabil. Pasul reglabil conduce întotdeauna la randamentul maxim posibil pentru anumite condiții date.

Experiența dobîndită pînă în prezent în construcția și exploatarea agregatelor aeroelectrice arată că, datorită complexității suplimentare pe care o introduce pasul variabil, cu efecte importante asupra agregatului în ansamblu, aplicarea acestei soluții este mai puțin utilizată la agregate cu puteri unitare mai mici de 150 kW. Beneficiul de eficiență pe partea energetică, la aceste puteri, este anulat de costul pentru realizarea și întreținerea agregatelor în exploatare. Pentru agregate cu puteri unitare mai mari de 150 kW, pasul variabil, pe baza experienței dobîndite pînă în prezent, se pare că este singura soluție.

1. Soluții constructive și funcționale pentru agregatul de 300 kW

În cadrul programului de valorificare a energiei vîntului, pe amplasamentul Semenic urmează să se instaleze o centrală eoliană în componența căreia să intre mai multe grupuri de 300 kW. Se urmărește prin aceasta realizarea unui grup reprezentativ pentru Sistemul Energetic Național, care să se încadreze prin performanțe în nivelul atins pe plan mondial în acest domeniu. Unitățile de cercetare, proiectare și fabricație au întocmit programe speciale pentru asimilarea concepției și fabricației acestor grupuri de puteri unitare mari.

O primă etapă de asimilare a concepției și fabricației, incluzînd și dotări pentru fabricație, a constat în realizarea de modele experimentale în gama de puteri 5—300 kW, dotări cu standuri pentru testarea de componente în procesul de fabricație.

În cadrul primei etape de asimilare s-a realizat pînă în prezent un model de 5 kW montat în amplasamentul Moravița-Timiș (fig. 3) și un model experimental de 30 kW montat în amplasamentul Timișoara (fig. 4).

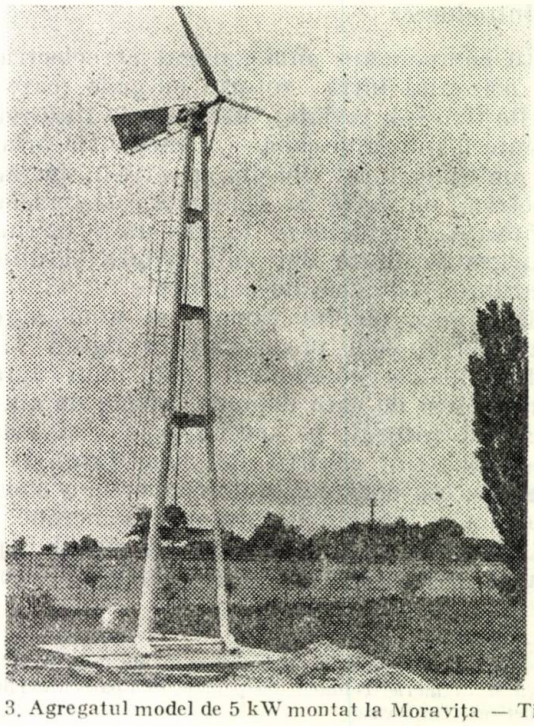


Fig. 3. Agregatul model de 5 kW montat la Moravița — Timiș

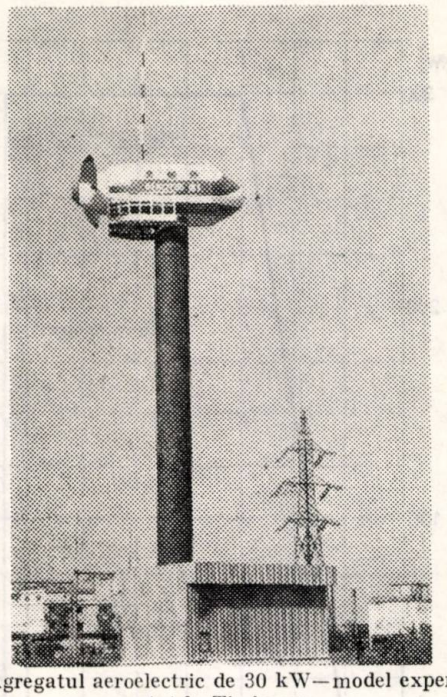


Fig. 4. Agregatul aeroelectric de 30 kW — model experimental montat la Timişoara.

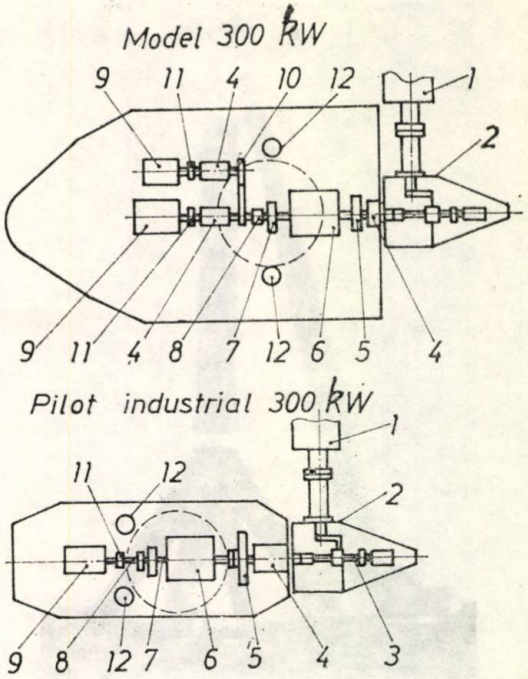


Fig. 5. Schema bloc a agregatelor aeroelectrice de 300 kW (model experimental şi pilot industrial) : 1 — paletă ; 2 — butuc ; 3 — mecanism acţionare palete ; 4 — lagăr ; 5 — frînă de avarie ; 6 — multiplicator ; 7 — frînă de serviciu ; 8 — cuplaj torsiometric ; 9 — generator ; 10 — transmisie prin curele ; 11 — cuplaj electromagnetic ; 12 — mecanism de orientare.

Soluţiile adoptate pentru modelul experimental de 30 kW, agregat conceput să debiteze energie în reţea, constau în : rotor cu două pale reglabile, diametrul rotorului 10 m, generator asincron care funcţionează în regim suprasincron cu sau fără cascadă suprasincronă.

Reglarea puterii absorbite de rotor se realizează prin modificarea unghiului de instalare al palelor cu ajutorul unui sistem hidraulic de acţionare. Orientarea pe direcţia vîntului se realizează cu ajutorul unui sistem electromecanic comandat de traductorul de direcţie vînt.

Funcţionarea agregatului este controlată de un automat programabil care primeşte informaţii de viteză vînt, turaţie rotor, turaţie generator, poziţie unghiuri pale şi releu centrifugal de protecţie. Domeniul de funcţionare a agregatului : $v = 3-28$ m/s.

Pe baza testelor efectuate pe acest model experimental s-a trecut la elaborarea concepţiei pentru un al doilea model experimental, de 300 kW, destinat amplasamentului Semenic. Modelul experimental de 300 kW (fig. 5) este conceput să debiteze în reţea cu două generatoare ce funcţionează în regim suprasincron. Caracteristicile principale ale modelului sînt : diametrul rotorului : 30 m ; turaţia rotorului : 50 rot/min ; numărul de pale : 3 ; lungimea palelor : 12,5 m (realizate din metal) ; multiplicator cilindric cu raport de transmisie 31 ; două generatoare asincrone de putere 55 kW şi 275 kW ; sistemul de conducere : calculator de proces.

Rotorul aflat în aval de stîlp este echipat cu trei pale reglabile acţionate de un mecanism electromecanic.

Transmisia mecanică (vezi fig. 5) se compune din multiplicator, frînă de serviciu şi de avarie, transmisie prin curele, lagăre şi cuplaje. Transmisia prin curele asigură antrenarea generatorului de putere mică 55 kW, care va debita la limita inferioară a domeniului de variaţie a vitezei vîntului.

Agregatul (aflat în fază de montaj, fig. 6—7) este conceput să funcţioneze în domeniul de variaţie a vitezelor vîntului $v = 3{,}5 - 32$ m/s.

Pe baza experienţei dobîndite la realizarea concepţiei, fabricaţiei, montajului şi testelor din uzină şi amplasament ale modelelor experi-

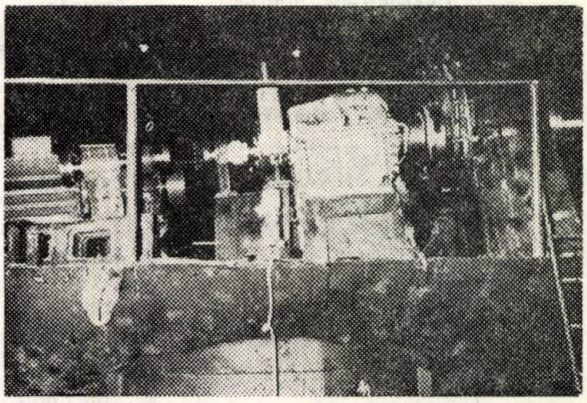


Fig. 6 Standul uzinal de încercări ale lanţului cinematic al agregatelor de 300 kW.

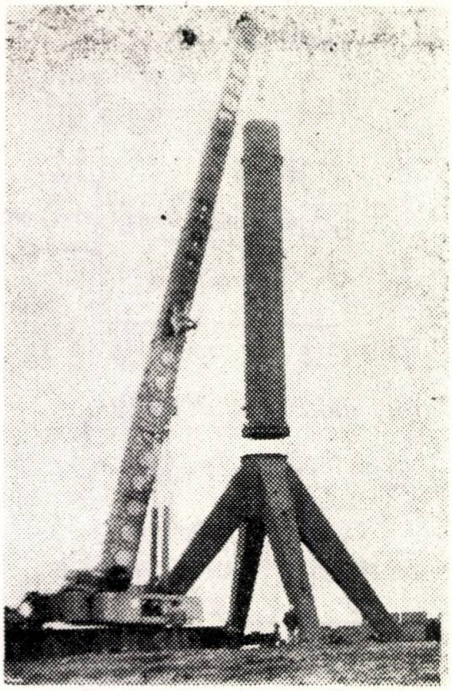


Fig. 7. Aspecte din timpul montajului pilonului agregatului model de 300 kW, din Semenic.

mentale de 30 şi 300 kW, utilizînd şi experienţa pe plan mondial în acest domeniu, s-a trecut la elaborarea concepţiei pentru pilotul industrial de 300 kW, agregat destinat implementării în Sistemul Energetic Naţional.

Corespunzător domeniului de variaţie a vitezelor vîntului din amplasamentul Semenic, agregatul a fost astfel conceput încît să realizeze caracteristica funcţională putere-viteza vîntului redată în figura 8.

Pilotul industrial conceput să debiteze în Sistemul Energetic Naţional este echipat cu

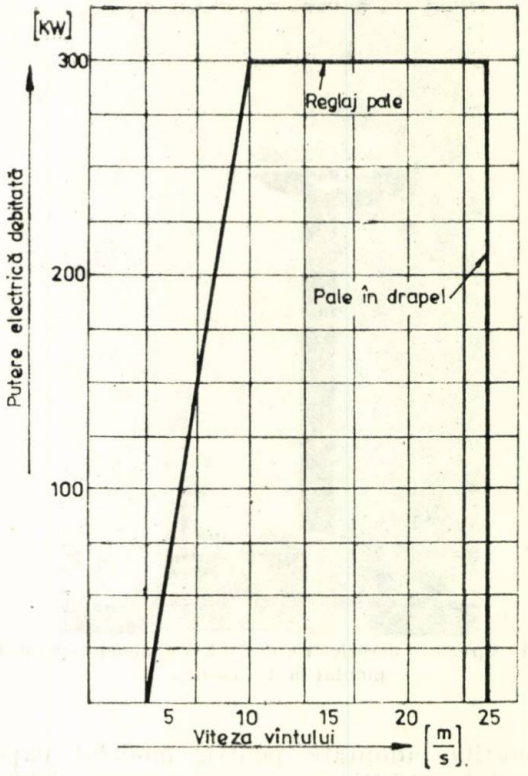


Fig. 8. Caracteristica putere-viteza vîntului prezumată pentru pilotul industrial al agregatului aeroelectric de 300 kW.

un singur generator ce funcţionează în regim suprasincron. Rotorul montat în amonte de stîlpul de susţinere este echipat cu trei pale reglabile acţionate de un mecanism electromecanic. Parametrii agregatului şi componenţa sînt daţi în tabelul 1 şi figura 5.

Tabelul 1

1. ROTOR		5. SISTEM DE ORIENTARE	
Diametru (m)	30	Tip	activ
Turaţie rotor (rot/min)	50	Viteza de rotaţie a nacelei grd/s	0,31
Număr pale	3		
Poziţie rotor faţă de stîlp	Amonte		
Reglarea puterii	Reglaj unghi pale		
2. PALA		6. SISTEM DE CONDUCERE	
Profile	NACA reglabil	Tip	logica cu relee electromagnetice
Unghi de instalare	Răşină armată	Acţionări	
Material			
3. TRANSMISIE MECANICĂ		7. PERFORMANTE	
Tip multiplicator	cilindric	Putere (kW)	300
Raport de transmisie	31	Viteza vînt minimă de pornire (m/s)	3,5
4. GENERATOR		Viteza vînt maximă de funcţionare (m/s)	25
Tip	asincron	Viteza vînt de dimensionare (m/s)	80
Putere (kW)	375		
Turaţie (rot/min)	1500		
Regim de funcţionare	suprasincron debitare prin stator		
Tensiune (V)	380/660		

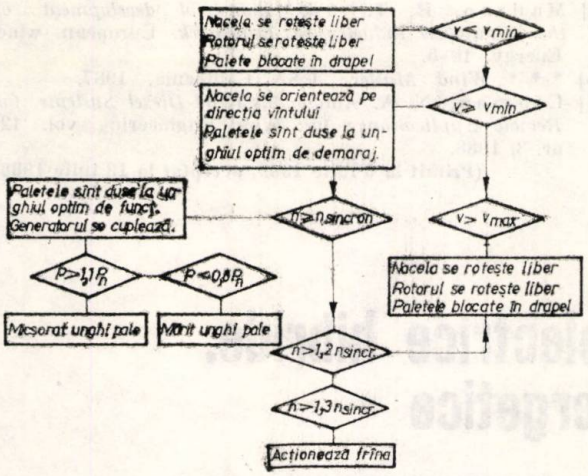


Fig. 9. Schema bloc de funcţionare a agregatului de 300 kW.

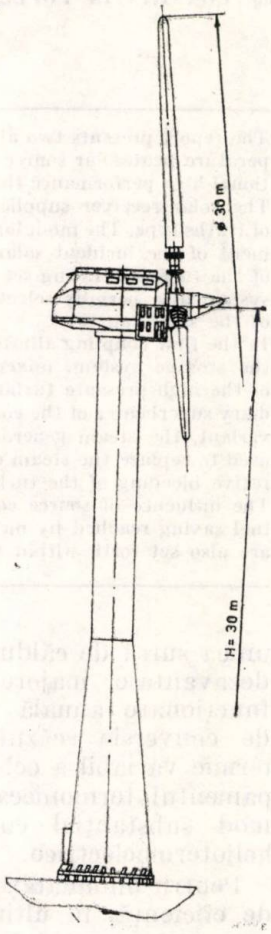


Fig. 10. Soluţia de ansamblu a agregatului aeroelectric de 300 kW

Agregatul este echipat cu frînă de serviciu şi avarie. Frîna de avarie este de tip disc cu cilindri de execuţie, presiunea de ulei fiind asigurată de o gospodărie de ulei proprie. Schema bloc funcţională a agregatului este prezentată în figura 9.

Agregatul este prevăzut cu două regimuri de funcţionare : regimul automat şi regimul de revizie. Regimul automat este regimul normal de funcţionare cînd agregatul este condus automat prin parametrii fundamentali : viteza vîntului, turaţie şi putere. Regimul de revizie este necesar la punerea în funcţiune sau la efectuarea probelor în urma remedierii unor defecţiuni. În acest regim pot fi comandate individual toate echipamentele.

Schema de automatizare a agregatului aeroelectric se bazează pe regulatoare bipoziţionale şi relee din producţia curentă.

Sistemele de măsură asigură informaţiile necesare sistemului de automatizare. Informaţiile privesc atît starea şi poziţia echipamentelor, cît şi parametrii de conducere ai agregatului. Sistemele de măsură sînt compuse din : traductorul propriu-zis, echipamentul de măsură şi prelucrare a informaţiilor primite de la traductoare.

Sistemul de conectare la reţeaua electrică asigură conectarea, respectiv deconectarea, automată sau voită a agregatului la Sistemul Energetic Naţional.

Traductorul de putere măsoară în permanenţă puterea debitată în reţea, iar în situaţia depăşirii acesteia cu $P \geq 1{,}1\ P_n$ regulatoarele de putere dau comanda de micşorare a unghiului de instalare a palelor, pînă cînd puterea devine $P \leq 0{,}9\ P_n$.

Dacă puterea debitată scade sub valoarea $P \leq 0{,}8\ P_n$, regulatoarele de putere vor comanda mărirea unghiului de instalare pînă cînd $P \geq P_n$. Astfel, dacă viteza vîntului depăşeşte viteza nominală $v \geq v_n$, puterea debitată de agregat se va menţine într-o bandă cuprinsă între $0{,}8\ P_n \leq P \leq 1{,}1\ P_n$.

Agregatul eolian este protejat la ambalare, suprasarcină, scurtcircuit, depăşirea temperaturii în nacelă, respectiv lagăre şi la depăşirea unui nivel maxim admis de vibraţii. Poziţionarea nacelei pe direcţia vîntului se face doar dacă $v_{min} < v < v_{max}$. În afara acestor limite, poziţionarea nacelei pe direcţia vîntului nu este eficace.

Soluţia de ansamblu a agregatului rezultă din figura 10.

Concluzii

Prin modul de dotare, cele două agregate, modelele experimentale de 30 şi 300 kW, vor constitui baza de experimentare pentru asigurarea concepţiei în domeniul agregatelor aeroelectrice cu ax orizontal racordate la Sistemul Energetic Naţional în gama de puteri 30 — 1000 kW

Prin parametrii constructivi şi funcţionali agregatul pilot industrial de 300 kW destinat implementării în Sistemul Energetic Naţional se aliniază realizărilor actuale în acest domeniu pe plan mondial.

Bibliografie

[1] Anghel, A. *Horizontal Axix Electrical Wind Generators for the National Energy-System.* În: Revue Roumaine de Science et Technique, nr. 1, 1987.

[2] Anghel, A., Ghiţulescu, C., Marinca B., Raicov, N. *Agregate aeroelectrice cu ax orizontal*

de 30 și 300 kW racordabile la Sistemul Energetic Național, Parametrii funcționali și soluții constructive. Conferința de mașini hidraulice și hidrodinamică, IPT Timișoara, vol. 5.

[3] Le Gourières, D. *Energie Eolienne.* Ed. Eyrolles Paris, 1980.

[4] Madseo, B. T. *The industrial development of the Windpower industry in Danemark.* European wind Energy, 1986.

[5] * * * *Wind Master.* USA California, 1987.

[6] Lipman, N. A. *Autonomus Wind-Diesel Systems for Remote Applications* : În : Wind Engineering, vol. 12, nr. 3, 1988.

(Primit la 6 iulie 1989, acceptat la 13 iulie 1989)

Centrale heliotermoelectrice hibride. Variante energetice

Dr. ing. CRISTIAN RĂDUCANU, ing. CONSTANTIN POPESCU*)

Descriptori : centrale solare, centrale termoelectrice

În lucrare se prezintă două variante de cuplare a unei surse solare de căldură de temperatură ridicată în schema termică a unei centrale termoelectrice clasice de parametri ridicați.

Receptorul solar alimentează un acumulator de căldură de tip Ruths de construcție modulară. Acumulatorul modular asigură utilizarea cît mai completă a energiei radiante incidente disponibile, permite decalări între perioada de stocaj și perioada de utilizare a căldurii, precum și modificarea puterii termice extrase din acumulator, respectiv cota de participare a sursei solare.

În prima variantă de cuplare, aburul produs în acumulator este introdus în supraîncălzitorul intermediar al cazanului clasic, în amestec cu aburul eșapat din corpul de înaltă presiune al turbinei. În a doua variantă, aburul produs de acumulator se utilizează pentru a înlocui aburul extras la ultima priză regenerativă a turbinei, care se închide.

Se prezintă implicațiile cuplării surselor asupra schemei de ansamblu și se estimează economia de combustibil în cele două variante propuse.

The report presents two alternatives of coupling a high temperature heat solar source to the thermal cycle of a conventional high performance thermal power plant.

The solar receiver supplies a modular heat storage system of Ruths type. The modularity of this system ensures improvement of the incident solar energy utilisation and operation of the turbogenerating set during peak periods. This storage system also permits selection of the required output share of the solar source.

In the first coupling alternative, the steam generated within the storage system, mixed with the steam exhausted out of the high pressure turbine is introduced into the intermediary superheater of the conventional boiler. As to the second variant, the steam generated within the storage system is used to replace the steam extracted out of the latest regenerative bleeding of the turbine.

The influence of source coupling and an assessment of the fuel saving reached by means of the two proposed variants are also set forth within the report.

Necesitatea găsirii unor surse alternative de energie, competitive din punct de vedere economic, care să înlocuiască combustibilii fosili în curs de epuizare, a determinat în ultimii 15 ani o intensă activitate de cercetare științifică complexă, avînd, în majoritatea cazurilor, caracter pluridisciplinar.

Una din direcțiile de acțiune a fost aceea a valorificării energiei radiante solare prin conversie heliotermoelectrică. În urma studiilor și experimentărilor întreprinse în numeroase țări s-a constatat că sistemul convertor heliotermic bazat pe concentrarea radiației solare prin reflexie (simplă sau multiplă) necesită stăpînirea unor tehnologii avansate, iar puterea sa termică unitară este limitată din rațiuni tehnice și economice.

Cuplarea sistemului heliotermic cu un ciclu termodinamic cu abur, în care primul constituie unica sursă de căldură, va prezenta mai multe dezavantaje majore, și anume : durata de funcționare anuală redusă ; randamentul net de conversie scăzut ; funcționarea în regim termic variabil a cel puțin unei părți din echipamentul termomecanic, ceea ce afectează în mod substanțial competitivitatea centralelor heliotermoelectrice.

Pentru îmbunătățirea indicatorilor economici de eficiență, în ultima perioadă s-a recurs la propunerea combinării surselor de căldură ale ciclului termodinamic prin integrarea convertorului heliotermic în circuitul unei CTE sau CNE.

Prin această soluție se obține prelucrarea căldurii solare cu un randament termic ridicat la nivelul instalațiilor convenționale de mare putere și se micșorează investiția aferentă valorificării energiei solare.

Funcționarea simultană a celor două surse de căldură duce în mod inevitabil la complicații pe partea de automatizare și la creșterea con-

* Dr. ing. Cristian Răducanu — Institutul Politehnic, București, ing. Constantin Popescu — Institutul de Cercetări și Modernizări Energetice, București.

sumului specific de căldură al ciclului în raport cu funcționarea numai a cazanului convențional. Hibridul se poate obține fie proiectînd întreaga instalație, fie prin implementarea sistemului convertor heliotermic într-o unitate termoelectrică sau nuclearoelectrică deja construită.

Prelucrarea căldurii solare în ciclul termodinamic va duce, prin urmare, la reducerea corespunzătoare a sarcinii celeilalte surse de căldură, determinînd economisirea unei cantități de combustibil convențional sau nuclear.

Necesitatea menținerii transparenței atmosferice în zona din jurul convertorului heliotermic determină unele restricții la alegerea amplasamentului (fiind recomandabilă o zonă nepoluată) și a tipului instalației convenționale (care se recomandă să utilizeze combustibil gazos și să aibă răcire în circuit deschis).

Realizările și proiectele prezentate în literatura de specialitate americană și sovietică diferă mult ca putere unitară, raport al participațiilor calorice ale celor două surse de căldură la funcționarea combinată și mod de cuplare pe partea fluidului de lucru [1,2,3].

În țara noastră au fost întreprinse o serie de studii și cercetări în vederea dezvoltării unei filiere proprii de valorificare a energiei solare prin conversie heliotermoelectrică bazată pe un sistem de conversie heliotermic cu cîmp de heliostate și receptor solar generator de abur saturat amplasat în vîrful unui turn [4,5]. Construirea unei instalații pilot experimentale pur solară compusă dintr-un asemenea convertor heliotermic, un acumulator de căldură și un ciclu termic cu abur saturat, rezultînd neeconomică, s-au întreprins studii pentru realizarea unui hibrid solaro-convențional.

În condițiile concrete ale țării noastre, proiectarea integrală și instalarea unui astfel de hibrid este exclusă de strategia dezvoltării sistemului energetic, care nu mai prevede construirea de noi unități pe hidrocarburi. Rămîne soluția implementării convertorului heliotermic într-o CTE deja construită, funcționînd pe combustibili superiori și amplasată într-o zonă convenabilă ca însoleiere.

Din necesitatea valorificării cît mai complete a energiei radiante disponibile zilnic, receptorul solar este înseriat cu un acumulator de căldură tip Ruths, de construcție modulară. Prezența acestuia în circuitul termic simplifică considerabil automatizarea receptorului solar și face posibilă alegerea momentului și duratei de prelucrare a căldurii provenite prin conversie heliotermică. Alcătuit din mai multe unități identice montate în paralel, sistemul de acumulare va permite decalarea perioadei de utilizare a energiei solare față de perioada de strălucire a soarelui și modificarea puterii termice extrase din acumulator (deci a cotei de participare calorică a sursei de căldură solare) în raport cu puterea termică medie zilnică a receptorului solar. Construcția modulară conferă un surplus de elasticitate în funcționare (încărcarea poate fi simultană cu descărcarea).

Instalația convențională de bază este un bloc cu parametrii $p_0 = 160$ bar, $t_0 = t_{si} = 550°C$, $p_2 = 0{,}065$ bar, corespunzători unui grup de condensație cu puterea instalată între 100 și 200 MW (fig. 1), funcționînd cu combustibili superiori, de tipul celor existente la CET Palas, CTE Brăila, CTE Fîntînele.

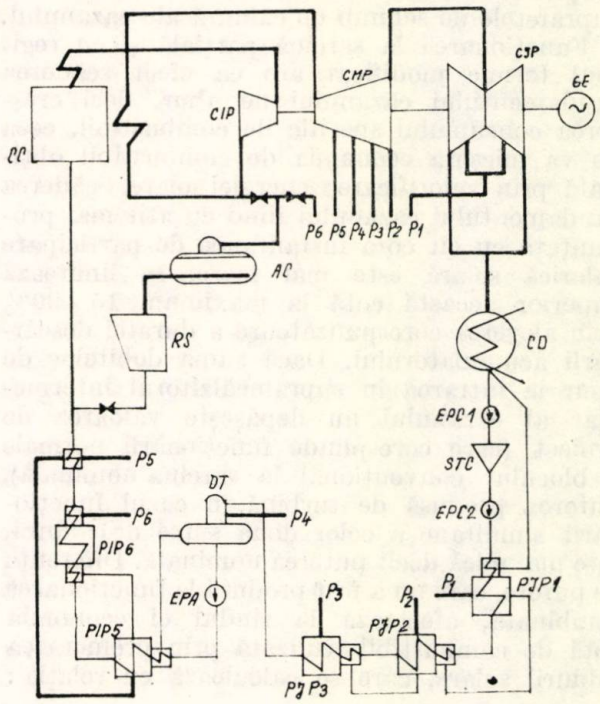


Fig. 1. Schema termică de principiu a instalației hibride

Cuplarea receptorului solar (RS) generator de abur saturat cu cazanul convențional (CC) existent trebuie realizată în așa fel încît să nu necesite modificări constructive sau înlocuirea unor părți ale echipamentului termomecanic aflat în dotarea instalației de bază și nici modificări semnificative ale regimului de lucru al acestora, care să ducă la creșterea consumului specific de combustibil sau la scăderea duratei lor de viață. Cuplarea sursei solare și a celei convenționale în serie este deci exclusă.

Cuplarea în paralel nu permite agentului de transport al căldurii solare (abur saturat produs de acumulator) să parcurgă întreg ciclul de bază datorită prezenței acumulatorului înseriat după receptorul solar, care funcționează cu gradient de presiune. Presiunea disponibilă a aburului produs de acumulatorul de căldură permite supraîncălzirea lui în cazan doar o singură dată, în amestec cu aburul eșapat din corpul de înaltă presiune al turbinei, în supraîncălzitorul intermediar. Energia provenită prin conversie heliotermică va

fi prelucrată deci într-un ciclu termic cu supraîncălzire simplă, cu un randament mai scăzut decît al ciclului de bază. Căldura de supraîncălzire este obținută pe seama combustibilului, utilizat cu un randament mai scăzut, ceea ce reduce din economia obținută prin valorificarea energiei solare.

Majorarea debitului de abur prin supraîncălzitorul intermediar, în raport cu debitul apei de alimentare, presupune modificarea regimului de temperaturi al gazelor de ardere în scopul redistribuirii fluxurilor de căldură între suprafețele de schimb de căldură ale cazanului.

Funcționarea la sarcină parțială și cu regimul termic modificat are ca efect scăderea randamentului cazanului de abur, deci creșterea consumului specific de combustibil, ceea ce va micșora economia de combustibil obținută prin valorificarea energiei solare. Scăderea randamentului cazanului fiind cu atît mai pronunțată cu cît cota instantanee de participare calorică solară este mai mare, se limitează superior această cotă la maximum 15—20% prin alegerea corespunzătoare a duratei descărcării acumulatorului. Dacă suma debitelor de abur la intrarea în supraîncălzitorul intermediar al cazanului nu depășește valoarea de proiect (care corespunde funcționării normale a blocului convențional la sarcina nominală), puterea produsă de turbină, în cazul funcționării simultane a celor două surse de căldură, este mai mică decît puterea nominală. Diferența de putere, care nu a fost produsă la funcționarea combinată, afectează la rîndul ei economia netă de combustibil realizată prin prelucrarea căldurii solare, care se calculează cu relația:

$$\Delta B = \frac{Q_s}{\eta_c H_i} \cdot \left[\frac{b_N}{b_s} \cdot (1 + \varphi) - \varphi\right] + \\ + P_N \cdot \tau \cdot (b_N - b_c) \cdot a_6, \qquad (1)$$

unde:

P_N este puterea nominală la borne;

τ — durata de funcționare combinată;

Q_s — căldura extrasă din acumulator pe durata τ;

H_i — puterea calorifică inferioară a combustibilului înlocuit;

η_c — randamentul cazanului la funcționarea combinată;

a_6 — debitul specific de abur extras la ultima priză regenerativă;

b_N — consumul specific nominal al grupului convențional;

b_c — consumul specific aferent părții convenționale la funcționarea combinată;

b_s — consumul specific aferent părții solare la funcționarea combinată;

φ — constantă care ține de parametrii ciclului combinat.

Se poate ușor observa că, în cazul în care cota instantanee solară este redusă $b_c = b_N$, ceea ce simplifică relația, care devine:

$$\Delta b = \frac{\Delta B}{Q_s} = \frac{1}{\eta_c \cdot H_i} \cdot \left[\frac{\eta_{ts}}{\eta_{tN}} (1 + \varphi) - \varphi\right], \qquad (2)$$

în care:

η_{ts} este randamentul termic al ciclului parcurs de agentul de transport al căldurii solare (cu supraîncălzire simplă);

η_{tc} — randamentul termic al ciclului de bază la funcționarea combinată (incluzînd efectele modificărilor regimului de presiuni în turbină);

η_{tN} — randamentul termic al ciclului de bază în regim normal nominal de funcționare (η_{tN}/η_{tc}).

Constanta φ este raportul dintre căldura necesară supraîncălzirii aburului saturat produs de acumulator și căldura necesară producerii acestuia prin încălzirea apei de alimentare a cazanului.

În cazul în care aburul saturat produs de acumulator este supraîncălzit o singură dată în cazan $\varphi = 0{,}433$, iar $\Delta b = 0{,}104$ kgc.c./kWht*.

Aburul produs de acumulatorul de căldură mai poate fi utilizat și pentru a înlocui aburul extras la ultima priză regenerativă, care se închide. Efectul acestei manevre asupra funcționării supraîncălzitorului intermediar și corpurilor de medie și joasă presiune ale turbinei este același ca în cazul precedent, cu deosebirea că factorul φ are valoarea 0,257, ceea ce conduce la $\Delta b = 0{,}1075$ kgc.c./kWht.

Această soluție de utilizare a căldurii de proveniență solară pentru substituirea preîncălzirii regenerative necesită verificarea PIP 6 (vezi fig. 1) la noile condiții de funcționare (alimentare cu abur saturat, eventual cu o presiune mai mare, în locul alimentării cu abur supraîncălzit) și fixează cota de participare solară, care devine egală cu căldura necesară preîncălzirii apei de alimentare în PIP 6 și constituie circa 10% din puterea termică totală prelucrată în ciclul hibrid.

Cele două soluții de utilizare a aburului produs de acumulator se mai deosebesc și prin puterea produsă la borne (mai mare în primul caz) pentru aceeași durată a descărcării acestuia. În afară de cota instantanee de participare solară la puterea termică prelucrată în ciclul hibrid, o altă mărime caracteristică acestui regim de funcționare este gradul de supraîncărcare termică a supraîncălzitorului intermediar în raport cu funcționarea normală și același debit de apă de alimentare intrat în cazan. El este mai mare decît cota de paticipare calorică (la o cotă de 10% corespunde un grad de supraîncăl-

* 1kgc.c/kWht = 8,14 J/J

zire de 19% pentru $\varphi = 0{,}257$ și de 37% pentru $\varphi = 0{,}433$) și poate constitui la rîndul său un motiv de limitare a cotei solare în funcție de mijloacele la care se recurge pentru redistribuirea fluxurilor termice în cazan (închiderea injecțiilor de apă, recircularea gazelor de ardere).

Stabilirea cotei de participare calorică a

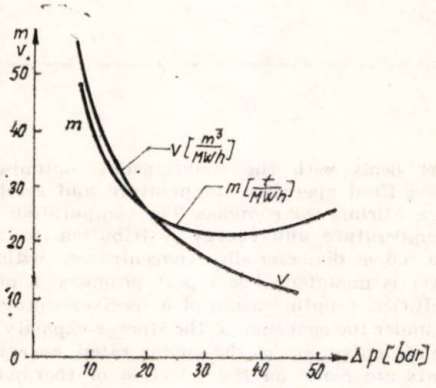


Fig. 2. Indicii specifici de dimensionare ai acumulatorului de căldură tip Ruths.

energiei solare și a gradului de supraîncărcare termică a supraîncălzitorului intermediar se face prin recalcularea regimului de funcționare modificat al cazanului.

Acumulatorul de căldură cu apă sub presiune la saturație tip Ruths va fi amplasat în clădirea principală, în sala mașinilor și va lucra cu un gradient de presiune $\Delta p = p_{max} - p_{min} = 35 - 40$ bar, care corespunde unui consum specific minim de metal $m = 21 - 22$ t/MWh$_t$ și unui volum specific $v = 13 - 15$ m^3/MWh$_t$ (fig. 2).

Receptorul solar va fi alimentat cu apă preparată în circuitul regenerativ, în paralel cu cazanul. Presiunea aburului saturat necesară la încărcarea acumulatorului fiind circa 100 bar surplusul de presiune va acoperi pierderile de sarcină pe traseul: receptor solar-acumulator sau va fi distrus în ventilul de alimentare cu apă al receptorului.

Bibliografie

[1] Salamov, A. A. *CSE în SUA*. În: Energohoziaistvo za rubejom, U.R.S.S., nr. 5/1987, p. 45—46.

[2] Jerome, M. Weingart *The U.S. Solar Thermal Energy Program: Commercializing the Solar Vision*. În: Solar Energy Research Institute, Golden, Colorado, S.U.A., raport sept. 1986.

[3] Tugov, A. I. *Dezvoltări viitoare ale CSE de tip turn*. În: Teploenerghetika, U.R.S.S., nr. 7/1987, p. 51.

[4] * * * *Cercetări de dezvoltare a soluțiilor energetice și tehnologice pentru centrale solaroelectrice de diferite tipuri pentru energetica de sistem*. MEE—ICEMENERG contract 6562/1986, 1987.

[5] Popescu, C. *Cercetări pentru perfecționarea soluțiilor energetice ale CSE cu heliostate și turn*. În: Energetica 35, nr. 1, 1987, p. 16.

(Primit la 6 iulie 1989, acceptat la 13 iulie 1989)

NOUTĂȚI

Din energetica mondială

ABORDAREA PRIN SIMULARE A CERCETĂRII LEGĂTURILOR RECIPROCE ÎN DEZVOLTAREA ENERGETICII ȘI ECONOMIEI

În domeniul prognozei energetice apar noi metode și tehnici prin care se încearcă creșterea gradului de precizie în prospectarea corectă a viitorului mai apropiat sau mai îndepărtat.

Revista „Problemi premișlennoi energhetiki", 1987, (p. 53—69) publică articolul „*Prognozarea prin simulare a consumului energetic*", semnat de V. E. Arakelov și V. R. Elohin, în care se propune, în scopul analizei și prognozării structurii consumului energetic, acest mod de abordare, la baza căruia sînt puse: 1 — schema pe niveluri multiple de modelare prin simularea consumurilor energetice și 2 — metoda aproximării statistice a modelelor complexe. Metoda abordării prin simulare la prognozarea consumului a fost acceptată cu ocazia rezolvării unor probleme energetice și, în particular, la stabilirea caracteristicilor consumului energetic al țării. În prezent, cu ajutorul acestui mod de abordare se cercetează structura consumului energetic al zonei industriale Irkutsk. Pentru asigurarea unui dialog cu calculatorul s-a elaborat un pachet de programe privind planificarea și analiza experimentelor de simulare.

Pe aceeași temă, Institutul Siberian de Energetică din Irkutsk a publicat, sub semnătura lui M. A. Ghersenson, cartea „*Abordarea prin simulare a cercetării relațiilor reciproce între dezvoltarea energeticii și economiei*" (1987, 144 pagini), în care se descrie întregul instrumentar de cercetări sistemice, bazat pe integrarea modelelor balanței dintre ramuri, pe dinamica sistemică și pe filtrul lui Kolman. Posibilitățile noului instrumentar de cercetare sînt ilustrate, în cadrul cărții, prin calcule de evaluare a legăturilor reciproce în dezvoltarea energiei și economiei naționale, de eficiență a exportului de combustibil, de viabilitate a sistemelor de energie și de consumuri energetice ale ramurii.

Manualul se adresează cercetătorilor științifici și proiectanților de sisteme energetice, interesați în noile metode de cercetare în energetică.

(După: Referativnîi jurnal, 22. Energhetika nr. 9/1988, poz. 9T69, K și nr. 11/1988 poz. 11T47).

Receptor de radiație solară concentrată cu stocaj termic în topituri

Conf. dr. ing. STOIAN PETRESCU, ș.l. ing. TEODOR BRUSALIS, as. ing. ROXANA IORDACHE, as. ing. MONICA COSTEA
dr. chim. VALERIA PETRESCU, ing. VICTOR VĂRZARU, ing. CONSTANTIN MIHĂILESCU*

Descriptori : receptoare, radiații solare, topiri, metalurgie

Se prezintă metoda de calcul elaborată pentru optimizarea simultană a temperaturii de lucru a agentului termic și a diametrului unui receptor acumulator termic de radiație concentrată pentru un motor Stirling solar, în ipoteza că este cunoscută curba de distribuție a temperaturii și fluxului energetic în pata focală a concentratorului parabolic cu diametrul de 6,5 m (ICEMENERG), în focarul căruia se montează ansamblul receptor-motor. Optimizarea are ca obiect randamentul termic al ansamblului concentrator-receptor-acumulator în condițiile unei capacități de stocare impuse, care să ofere autonomie energetică sistemului de circa 30 min la circa 60 % din puterea nominală. Se fac aprecieri referitor la alegerea materialului de stocaj termic prin căldura latentă de topire și căldura sensibilă. Se prezintă receptorul proiectat pe baza rezultatelor studiului de optimizare, care utilizează ca material de stocaj termic $NaNO_3$, precum și rezultatele experimentale obținute cu receptorul acumulator proiectat și realizat pe baza acestei metode, referitoare la regimuri staționare de funcționare la capacitatea nominală, în regimuri tranzitorii de stocare, rezultatele experimentale obținute fiind comparabile cu cele determinate teoretic.

The report deals with the simultaneous optimisation of the working fluid operation temperature and receiver diameter for a Stirling solar engine. The computation is based on the temperature and energy distribution in the focal point of a 5.6 m diameter dish concentrator, within which the receiver is mounted. The report proposes a method of thermal efficiency optimisation of a receiver-storage system assembly under the condition of the storage capacity required for a 30 min. autonomy of the engine rated energy output. Assessments are made on the selection of thermal storage materials. The report presents a receiver design on $NaNO_3$ and the experimental results obtained under its rated capacity stationary operation, as well as under its transient operation. The experimental results are consistent with the theory.

I. Etape parcurse în cercetarea, proiectarea, realizarea și testarea receptorului-acumulator termic de radiație solară concentrată

1. S-a elaborat o schemă de calcul al randamentului receptor-motor solar (Stirling), cu optimizarea temperaturii agentului de lucru din motor, în ipoteza receptorului disc și pentru un diametru dat al acestuia corespunzător unei densități constante a fluxului de energie solară concentrată în pata focală a oglinzii parabolice (fig. 1 *a*).

$$\eta_{\text{Rec, disc}} = A\left[1 - \frac{\varepsilon}{A}\cdot\frac{\sigma\cdot T^4}{\eta_{\text{conc}}\cdot E\cdot C} - \frac{\alpha_1(T - T_{\text{aer}}) + \alpha_2(T_{\text{ext}} - T_{\text{aer}})}{A\cdot\eta_{\text{conc}}\cdot E\cdot C}\right],$$

în care :

A = 0,8 este factorul energetic de absorbție ;

ε = 0,8 (corp cenușiu), factorul energetic de emisie al materialului receptorului ;

σ = 5,67 . 10^{-8} W/m^{2}K^4, constanta Ștefan-Boltzmann ;

E = 750 W/m^2, densitatea de putere radiantă ce cade pe oglindă, ca valoare medie anuală ;

α_1 = 7 W/m^2. K, coeficientul de transfer de căldură prin convecție la fața receptorului (considerat la T) ;

α_2 = 6 W/m^2. K, coeficientul de transfer de căldură prin convecție la spatele receptorului (considerat la T_{ext}) ;

T_{aer} = 293 K, temperatura ambiantă ;

T — temperatura la care se află cavitatea și agentul de lucru ce preia energia solară în receptorul de radiație :

$$T_{\text{ext}} = \frac{\frac{\lambda}{\delta}S_{\text{med}}\cdot T + S_{\text{ext}}\cdot\alpha\cdot T_{\text{aer}}}{S_{\text{ext}}\cdot\alpha + \frac{\lambda}{\delta}S_{\text{med}}} ;$$

$C = \frac{D^2}{d^2}$ factorul geometric de concentrare a radiației solare ;

η_{conc} = 0,6804, randamentul concentratorului parabolic.

2. Schema (1) a fost modificată pentru cazul receptorului cavitate cilindrică, ținînd cont de faptul că factorul energetic de absorbție al cavității este mai mare decît factorul energetic de absorbție al materialului (folosind

* Conf. dr. ing. Stoian Petrescu, ș. l. ing. Teodor Brusalis, as. ing. Roxana Iordache, as. ing. Monica Costea — Facultatea de Mecanică, dr. chim. Valeria Petrescu — Facultatea de Tehnologie Chimică, Institutul Politehnic București, ing. Victor Vărzaru — Institutul de Cercetări și Modernizări Energetice București, ing. Constantin Mihăilescu — Institutul Național de Motoare Termice, București.

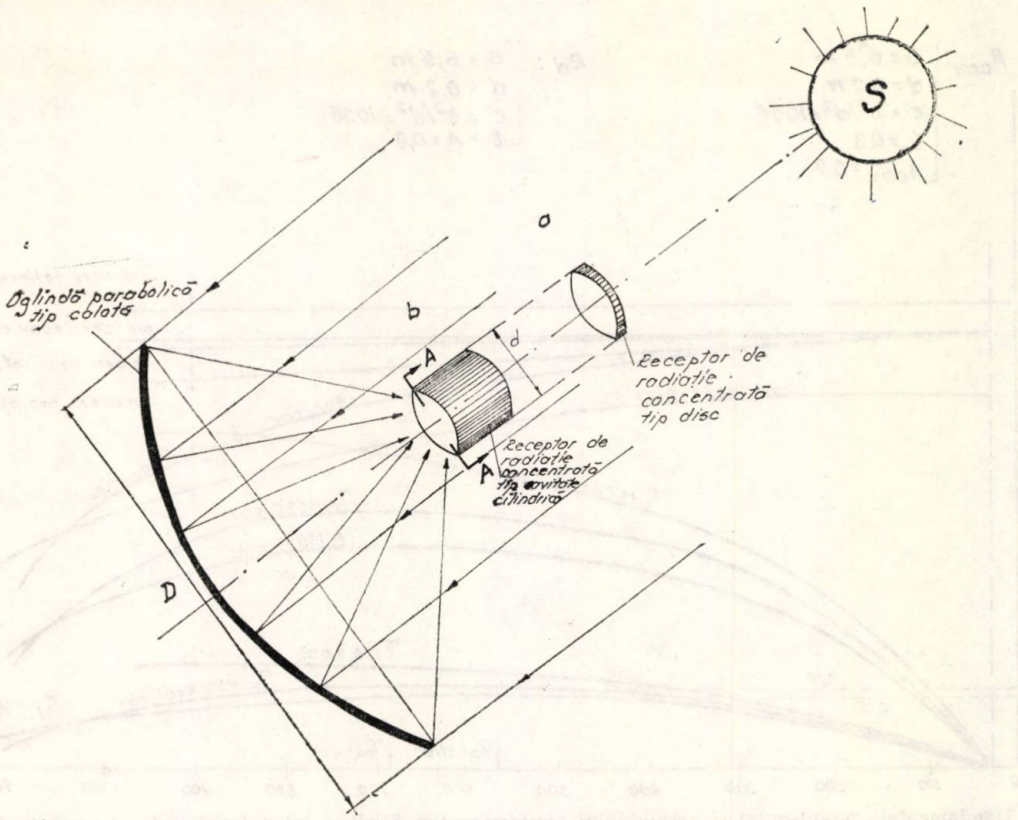


Fig. 1 *a*. Ansamblul oglindă-receptor de radiație solară concentrată : a-tip disc ; b-tip cavitate cilindrică

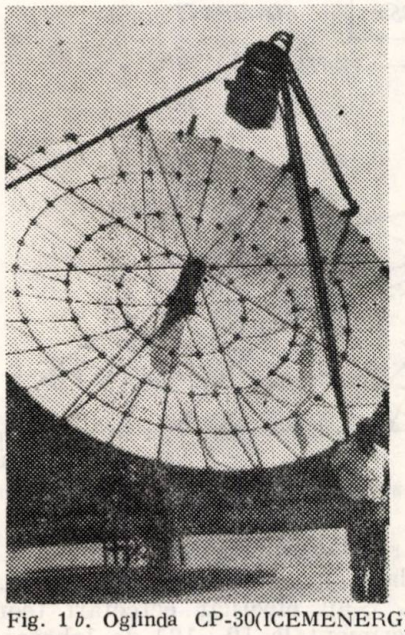


Fig. 1 *b*. Oglinda CP-30(ICEMENERG).

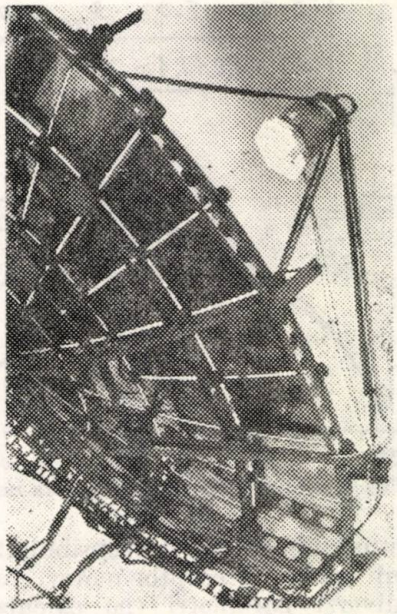


Fig. 1 *c*. Receptor cavitate cilindrică plasat în focar.

o curbă de corelație între acestea din literatură [1, 2, 3])

$$\eta_{\text{Rec.cav}} = A_{\text{cav}} \left[1 - \frac{\varepsilon}{A_{\text{cav}}} \cdot \frac{\sigma \cdot T^4}{\eta_{\text{conc}} \cdot E \cdot C} - \right.$$

$$\left. - \frac{S_{\text{ext}} \cdot \alpha_{\text{ext}} (T_{\text{ext}} - T_{\text{aer}}) + S_{\text{int}} \cdot \alpha_{\text{int}} (T - T_{\text{aer}})}{A_{\text{cav}} \cdot \eta_{\text{conc}} \cdot E \cdot C \cdot S_{\text{cav}}} \right]$$

unde :

A_{cav} = 0,94 este factorul energetic de absorbție al cavității ;

λ — coeficientul de conductibilitate termică a materialului izolației ;

δ — grosimea izolației.

3. S-a efectuat un studiu comparativ al performanțelor de randament al ansamblului receptor — motor solar, pentru cele două variante, disc și cavitate cilindrică, ajungîndu-se la concluzia că receptorul cavitate este mai performant (din punctul de vedere al randamentului global) în domeniul temperaturilor optime [4, 5] (fig. 2).

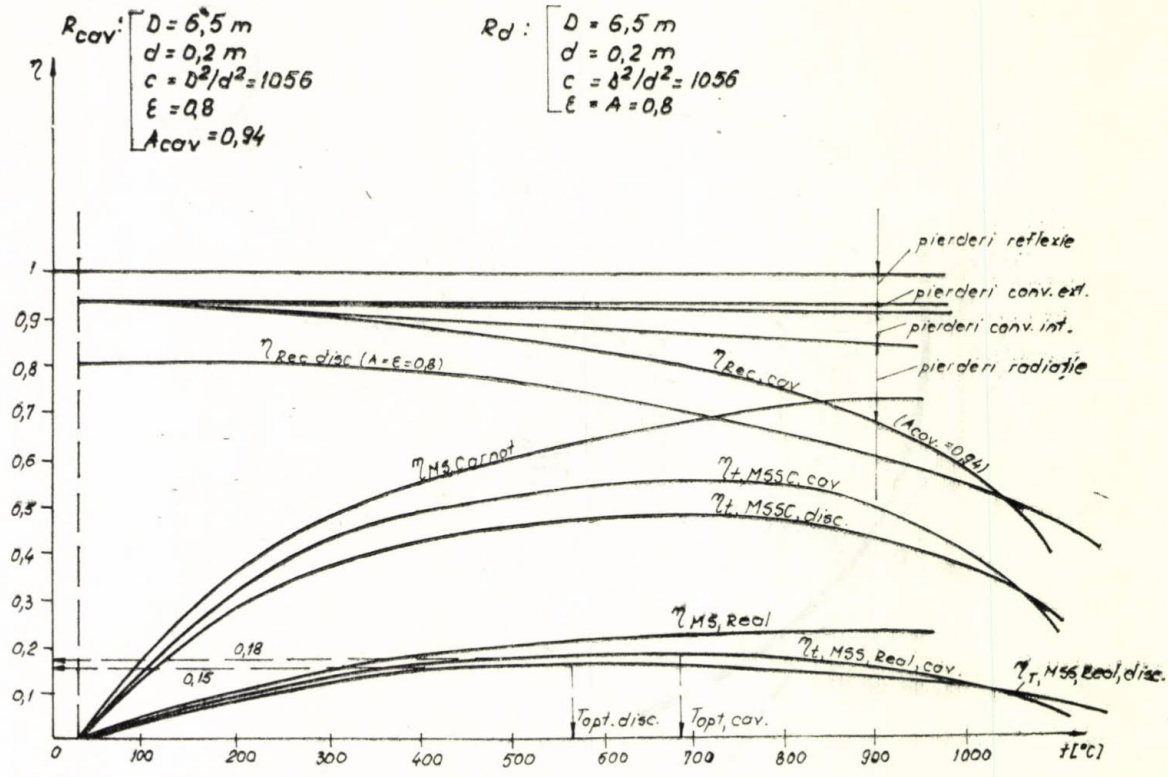


Fig. 2. Randamentele receptorului și ansamblului receptor-motor Stirling solar funcție de temperatură $d = 0,2$ m.

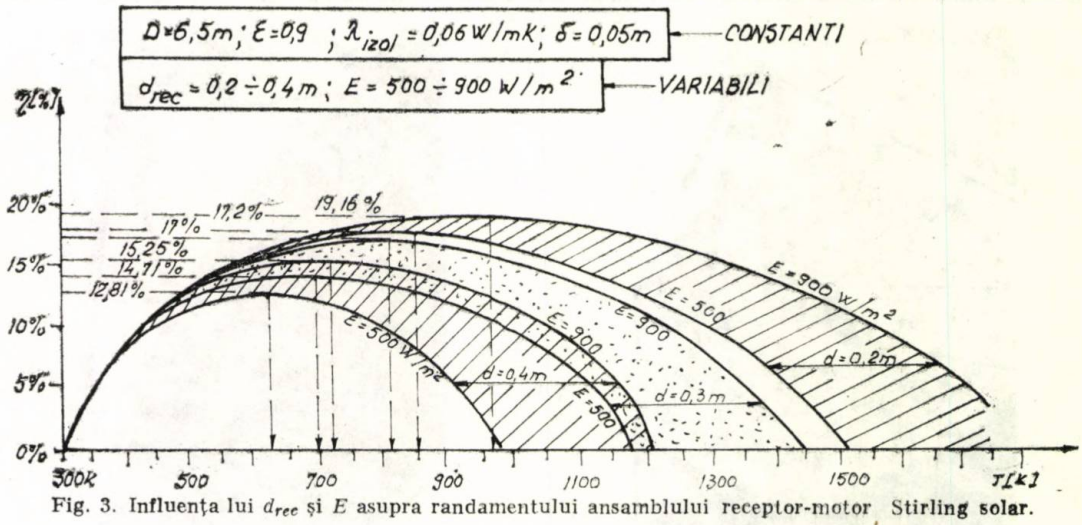


Fig. 3. Influența lui d_{rec} și E asupra randamentului ansamblului receptor-motor Stirling solar.

4. S-a efectuat un studiu de sensibilitate a randamentului global (receptor-motor solar) funcție de diverși parametri (pe calculator, cu reprezentarea grafică a curbelor de randament funcție de temperatură) [6] (fig. 3).

5. S-a constatat că pentru ambele tipuri de receptoare (disc și cavitate) și pentru diverși parametri funcționali și constructivi, maximul randamentului global (receptor-motor solar) are un palier de circa 200°.

Aceasta generează ideea că se poate folosi stocajul termic în topituri, utilizînd atît căldura latentă de topire (cu punctul de topire la temperatura minimă a intervalului optim), cît și căldura sensibilă acumulată în intervalul de la $T_{opt,min}$ la $T_{opt,min} + 200°C$ (fig. 4).

6. S-au efectuat cercetări teoretice [8] și experimentale [9—12] de laborator prin diferite metode, pentru determinarea capacității de stocaj termic în topituri, pentru alegerea materialului optim (Zn, Pb, Cd, $NaNO_3$, KOH, LiCl + KCl etc.).

7. S-a elaborat o schemă de optimizare a diametrului receptorului-acumulator termic de radiație solară concentrată, în varianta cunoașterii (experimentale) a distribuției densității fluxului de radiație solară în pata focală a

concentratorului parabolic CP—30 (ICEMENERG) cu diametrul de 6,5 m [12, 13, 14].

S-a determinat diametrul optim al receptorului de 0,3 m (vezi fig. 4), din care s-a dedus distribuţia de temperaturi şi randamentul de intercepţie.

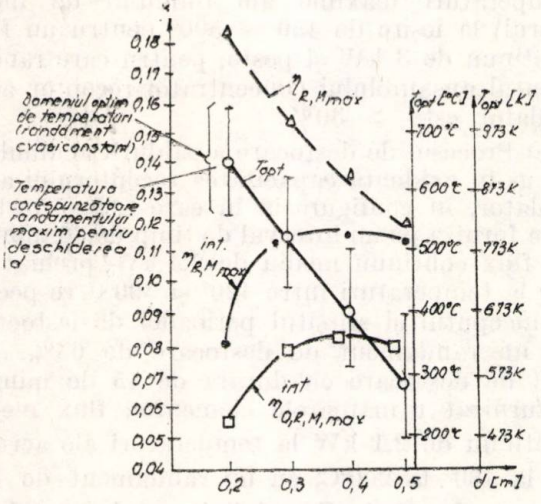


Fig. 4.

8. S-a proiectat, realizat şi testat un receptor acumulator cu diametrul optim (0,3 m) adaptat concentratorului CP—30 şi cu material de stocaj optim ales ($NaNO_3$) (fig. 1*b*, 1*c*).

II. Rezultatele obţinute la testarea receptorului — acumulator realizat

II.1. Caracteristicile receptorului-acumulator

Receptorul acumulator proiectat are o structură modulară, fiind format din şase module identice, parcurse în paralel de fluidul de lucru care este aerul. Cele şase module formează o prismă hexagonală cu latura bazei 0,18 m şi înălţimea 0,35 m. Masa totală a receptorului cu material de acumulare este ≈ 70 kg, din care material de acumulare $e \approx$ $\approx 18—20$ kg. Izolaţia exterioară este din vată minerală, suprafeţele receptoare fiind reprezentate de aria laterală a prismei. O secţiune de principiu în receptorul-acumulator în configuraţia în care a fost testat este prezentată în figura 5 *a*, imaginea receptorului în figurile 5 *b* şi 5 *c*.

II.2. Testări efectuate asupra performanţelor receptorului

Pentru testare s-a utilizat un receptor format din trei module, celelalte trei fiind înlocuite prin panouri de tablă reflectorizantă cu scopul

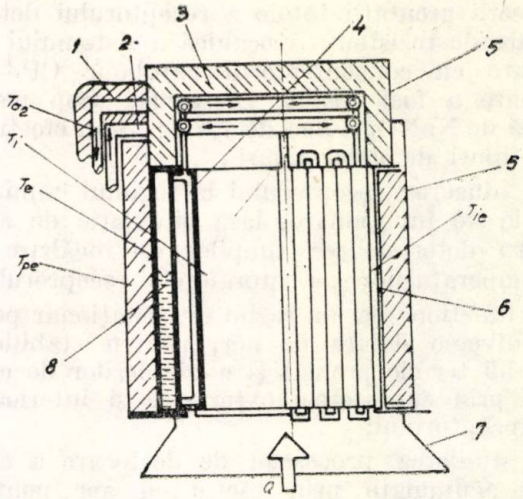


Fig. 5 a. Secţiune longitudinală în receptor cu precizarea poziţiilor punctelor de măsură a temperaturilor: 1—racord ieşire aer; 2—racord intrare aer; 3—izolaţie termică; 4—modul receptor cu şase canale pentru circulaţia aerului; 5—înveliş protecţie izolaţie; 6—ecrane interioare; 7—reflector intrare; 8—$NaNO_3$; T_i — temperatura pe suprafaţa interioară a modulului receptor; T_e — temperatura în spatele modulului cu $NaNO_3$ temperatura minimă în $NaNO_3$; T_{pe} — temperatura pe suprafaţa exterioară a izolaţiei termice; T_{ie} — temperatura pe suprafeţele interioare ecran; T_{a_2} — temperatură aer la ieşire.

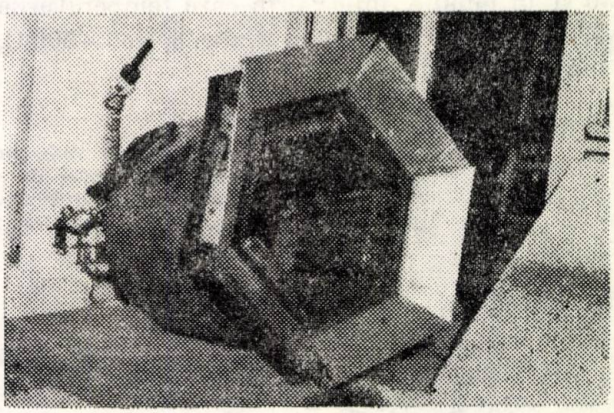


Fig. 5*b*.

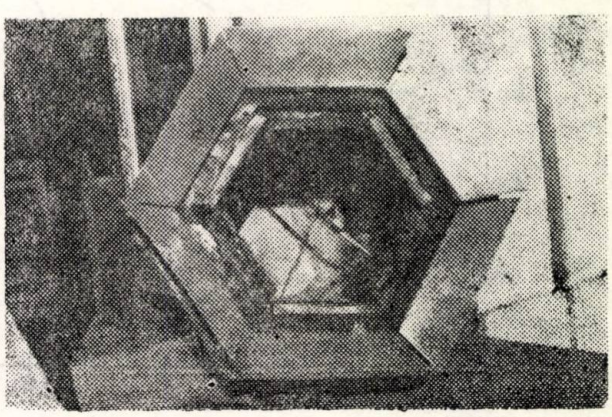


Fig. 5*c*.

reducerii greutății totale a receptorului determinate de rezistența mecanică a sistemului de cuplare cu concentratorul parabolic CP—30 cu care a fost testat. În același scop masa totală de $NaNO_3$ a fost de 7,5 kg. S-au efectuat trei tipuri de determinări :

a) aducerea receptorului la regimul nominal termic de funcționare, fără circulație de aer, pentru determinarea timpilor de încălzire și a temperaturilor pe suprafețele receptorului;

b) funcționarea în regim cvasistaționar pentru diverse debite de aer, pentru stabilirea fluxului termic preluat și a pierderilor de căldură prin suprafețele exterioare și interioare ale receptorului;

c) studierea proceselor de destocare a căldurii acumulate prin răcire cu aer pentru stabilirea regimului termic și a capacității de acumulare.

Ansamblul receptor-acumulator cu concentratorul parabolic este prezentat în figurile 1*b* și 1*c*.

II. 3. Rezultate obținute în urma testărilor

a) Timpul de atingere a regimului nominal de funcționare cu răcire cu aer este cuprins între 30 și 40 minute, interval în care temperaturile pe suprafețele receptoare ajung la 450—500°C, materialul de acumulare atinge temperatura de topire și chiar o depășește, fluxul termic preluat de aer fiind de ≈ 1 kW la niveluri de temperatură la ieșirea aerului având valori medii de 300°C.

b) Pentru regimul cvasistaționar s-au atins temperaturi maxime ale fluidului de lucru (aerul) la ieșire de 450° — 500° pentru un flux continuu de 3 kW și peste, pentru care randamentul ansamblului concentrator-receptor acumulator este $\geq 30\%$.

c) Procesul de destocare a căldurii acumulate a pus în evidență capacitatea receptorului-acumulator, în configurația în care a fost testat, de a furniza pe un interval de timp de 30 minute un flux continuu mediu de 2,4 kW, preluat de aer la temperaturi între 420° și 300°C, respectiv la începutul și sfîrșitul perioadei de destocare, cu un randament de destocare de 63%. Alt test de destocare cu durata de 45 de minute a furnizat următoarele elemente : flux mediu continuu de 2,1 kW la temperaturi ale aerului de la 480° la 200°C, cu un randament de destocare de 51%. S-a definit randamentul de destocare ca fiind raportul între cantitatea de energie preluată de fluidul de lucru și cea cedată de receptorul acumulator (masa metalică + material de acumulare) în același interval de timp prin răcirea uniformă a acestuia.

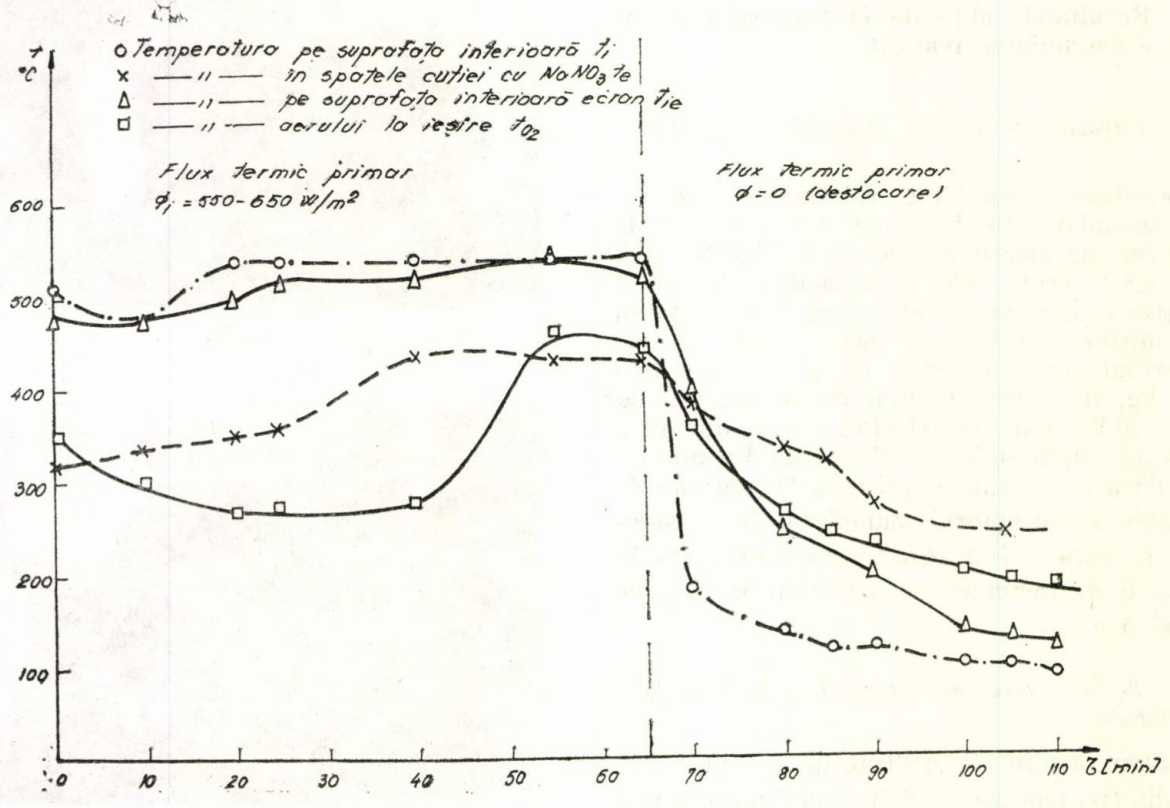


Fig. 6.

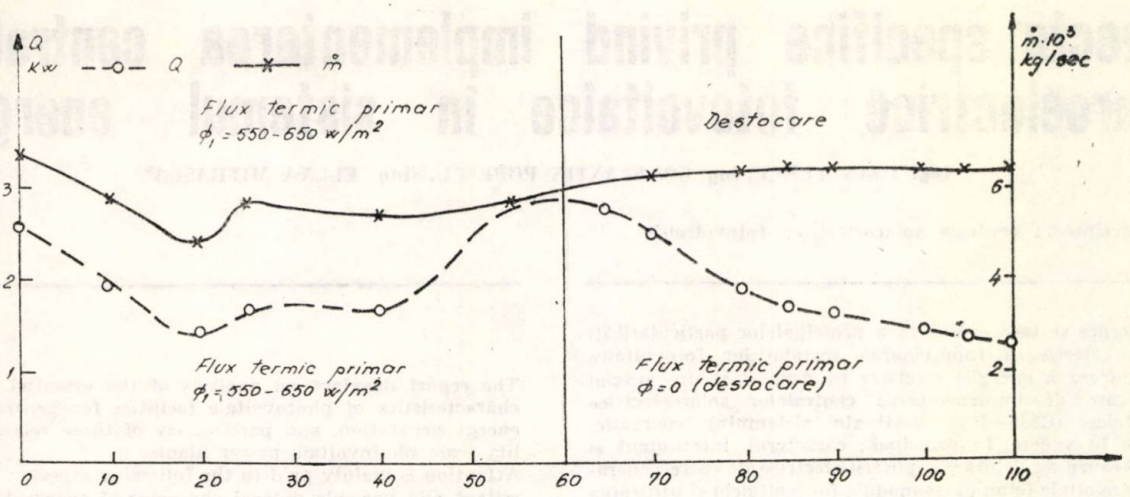


Fig. 7.

Un set de date experimentale referitoare la teste de tipul b și c sînt reprezentate în figurile 6 și 7 cu privire la temperaturi, fluxuri termice și debite.

Concluzii privind rezultatele obținute

Rezultatele obținute duc la următoarele concluzii referitor la receptorul în configurație completă cu șase module izolație termică optimizată cu utilizarea completă a capacității de acumulare :

a. Preluarea în regim staționar de funcționare a unui flux de căldură de minimum 6 kW la temperaturi ale fluidului de lucru, aerul, de 450°—500°C.

b. O capacitate de acumulare a căldurii care să asigure pe intervale de timp de 30—40 minute puteri termice medii de minimum 4 kW la temperaturi minime de 300°C.

c. Randamentul sistemului receptor-acumulator-concentrator parabolic cuprins între 30 și 35%.

d. Randamente în perioada de destocare cuprinse între 50 și 65%.

Bibliografie

[1] Jarvinen, Ph., O. *Solar Heated-Air Receivers.* În : Solar Energy, vol. 19, nr. 2/1977, pag. 139, fig. 16.

[2] Constantinescu, R., Arhip, Al., Costea, M., Stănescu, G., Petrescu, A. *Elaborarea unei scheme de calcul pentru receptorul de radiație concentrală tip cavitate, cu determinarea influenței diverșilor pararametri asupra temperaturii optime a motorului Stirling solar''* Sesiunea cercurilor științifice studențești, mai 1986.

[3] Petrescu, St., Dănescu, Al., Constantinescu, R., Costea, M. *Metodă de determinare a temperaturii optime de lucru a unui motor Stirling echipat cu receptor de radiație concentrată tip cavitate cilindrică.* A XIII-a Consfătuire a Termoenergeticienilor din România, 11—13 dec. 1986, Brașov.

[4] Petrescu, St., Constantinescu, R., Costea, M., Stănescu, G., Cozma, D. *Comparații între receptorul disc și receptorul cavitate de energie solară concentrată pentru motorul Stirling solar* Sesiunea cercurilor științifice studențești, mai 1988.

[5] Petrescu, St., Constantinescu, R., Costea, M., Petrescu, V., Brusalis, T., Mihăilescu, C. *Metodă grafo-analitică pentru optimizarea receptoarelor de radiație solară concentrală tip disc și cavitate cilindrică, prevăzută cu stocaj termic în topituri (573—772 K).* Simpozionul tehnico-științific „Energii recuperabile și neconvenționale'' 8—10 sept. 1988 Cluj-Napoca.

[6] Petrescu, St., Constantinescu, R., Costea, M., Stănescu, G., Petrescu, A. *Influența diverșilor parametri asupra performanțelor ansamblului receptor de radiație solară — motor Stirling solar.* Sesiunea cercurilor științifice studențești, mai, 1988,

[7] Petrescu, V., Constantinescu, R. *Unele aspecte privind stocarea energiei termice în topituri la temperaturi medii 573—773 K''* În : Energetica, 35, nr. 10, 1987, p. 447—451.

[8] Petrescu, V., Petrescu, St. *Metodă experimentală pentru determinarea cantității de energie stocată sub formă de căldură latentă de topire.* În : Energetica, 35, nr. 8, 1987, p. 340—342.

[9] Petrescu, V., Constantinescu, R. *Criterii de alegere a materialului de stocaj termic și aplicarea lor la un motor Stirling solar cu funcționare în domeniul de temperaturi 300—500°* C. Conferința termoenergeticienilor, Brașov, 1986

[10] Petrescu, V. *Studii experimentale privind stocarea energiei termice în săruri topite la temperaturi medii 300—500°C.* În : Revista de chimie, 39 (1), 1988.

[11] Petrescu, V., Cotârță, A., Vișan, T. *Metodă calorimetrică de determinare a energiei stocată în sisteme topite (în domeniul de temperaturi 373—1073°K).* În : Energetica, 36, nr. 4, 1988, p. 182—184

[12] Petrescu, St., Dănescu, Al., Costea, M., Constantinescu, R., Brusalis, T., Mălăncioiu, O., Mihăilescu, C. *Metodă de determinare a diametrului optim al receptorului de radiație concentrată de tip cavitate cilindrică la un motor Stirling solar.* Conferința termoenergeticienilor, Brașov, 1986.

[13] Vărzaru, V, Lauric, M., Molnar, T. *Concentrator parabolic pentru centrale solaroelectrice cu concentrare distribuită.* În : Energetica, 32, 1984, nr. 4, p. 168—173.

[14] Vărzaru, V. *Rezultatele experimentale obținute la concentratorul parabolic CP—30.* În : Energetica, 34, 1986, nr. 4, p. 167—171.

(Primit la 6 iulie 1989, acceptat la 13 iulie 1989)

Aspecte specifice privind implementarea centralelor solaroelectrice fotovoltaice în sistemul energetic

Ing. IOAN TURCU, ing. CONSTANTIN POPESCU, sing. ELENA MITRAŞCA*

Descriptori : centrale solaroelectrice fotovoltaice

În lucrare se face o analiză a principalelor particularităţi care caracterizează funcţionarea instalaţiilor fotovoltaice de producere a energiei electrice în general şi în special cele legate de implementarea centralelor solaroelectrice fotovoltaice (CSE—FV) destinate sistemului energetic.

Se au în vedere, în principal : caracterul intermitent şi variabil-diurn de debitare a puterii electrice de către generatorul fotovoltaic (cîmpul de module fotovoltaice) şi utilizarea unui echipament corespunzător pentru conversia c.c./c.a. şi de interconexiune la reţea.

De asemenea, se face o sinteză a principalelor implicaţii tehnice ce trebuie avute în vedere la elaborarea concepţiei de ansamblu a echipamentelor specifice componente, precum şi în realizarea şi exploatarea CSE—FV de sistem.

Ultima parte cuprinde o prezentare generală a concepţiei de ansamblu de realizare a unui pilot experimental de putere redusă (5 kW) pentru CSE—FV de sistem, avînd ca obiectiv principal aprofundarea tuturor aspectelor tehnice, economice şi organizatorice pe care le implică realizarea şi exploatarea CSE—FV de sistem în condiţiile ţării noastre.

The report develops an analysis of the essential operating characteristics of photovoltaic facilities for general electric energy generation, and particularly of those related to utility-scale photovoltaic power plants.

Attention is mainly paid to the following aspects : the intermitent and variable diurnal character of energy feeding by the photovoltaic generator (PV array), utilisation of an adequate equipment for both d.c./a.c. conversion and grid connection.

The report also approaches the overall conception of the specific component equipments, as well as photovoltaic power plant erection and system operation.

The last part of the article makes a general presentation of the overall manufacturing and erection conception of a low power (5 kW) experimental pilot for utility-scale photovoltaic power plant (CSE—FV).

Aplicaţiile electroenergetice ale filierei fotovoltaice s-au diversificat şi răspîndit, în special în ultimul deceniu, obţinîndu-se rezultate promiţătoare. În aceste aplicaţii se manifestă două tendinţe de dezvoltare tehnologică : instalaţii fotovoltaice (descentralizate) de producere a energiei electrice pentru alimentarea consumatorilor izolaţi sau cuplaţi la o reţea electrică locală şi realizarea de centrale solaroelectrice fotovoltaice (centralizate) racordate la sistemul energetic.

Pe plan mondial s-au realizat centrale solaroelectrice fotovoltaice avînd o gamă largă de puteri — de la zeci de kilowaţi pînă la zeci de megawaţi — aflate în funcţiune, în fază de construcţie sau de proiect [1,2,3]. Este de menţionat faptul că toate aceste centrale au un caracter de piloţi experimentali, cu scop demonstrativ-productiv, pe care se desfăşoară ample cercetări de dezvoltare şi perfecţionare în scopul optimizării performanţelor tehnico-economice.

Aceste cercetări se înscriu în contextul mai general de creştere a aportului surselor neconvenţionale de energie în balanţa energetică, cu posibilităţi de aplicare competitivă pe termen mediu şi lung.

Concepute să fie cuplate direct la sistemu energetic — avînd în vedere faptul că o soluţie de „stocare" a energiei electrice produse este livrarea acesteia direct în S E N — , centralele solaroelectrice fotovoltaice reprezintă surse complementare importante, care pot duce la economii de energie primară.

1. Aspecte specifice privind implementarea C S E — FV în sistemul energetic

Implementarea centralelor solaroelectrice fotovoltaice (CSE —FV) în sistemul energetic prezintă o serie de particularităţi, cu implicaţii atît în elaborarea schemei generale, de ansamblu, a CSE—FV, cît şi asupra parametrilor tehnico-funcţionali ce trebuie asiguraţi de componentele specifice.

Schema generală de ansamblu, cuprinzînd principalele subsisteme aferente unei CSE—FV este prezentată în figura 1.

CSE—FV se compune, în principal, din :

— generatorul fotovoltaic GFV, reprezentat de o reţea de module fotovoltaice interconectate serie/paralel amplasate în teren (cîmpul fotovoltaic, de captare şi conversie a energiei solare în energie electrică) ;

— sistemul de condiţionare a puterii—PCU debitate de generatorul fotovoltaic (regulator-maximizator de putere, invertorul pentru conversia c.c./c.a.);

* Ing. Ioan Turcu, ing. Constantin Popescu, sing. Elena Mitraşca — Institutul de Cercetări şi Modernizări Energetice, Bucureşti.

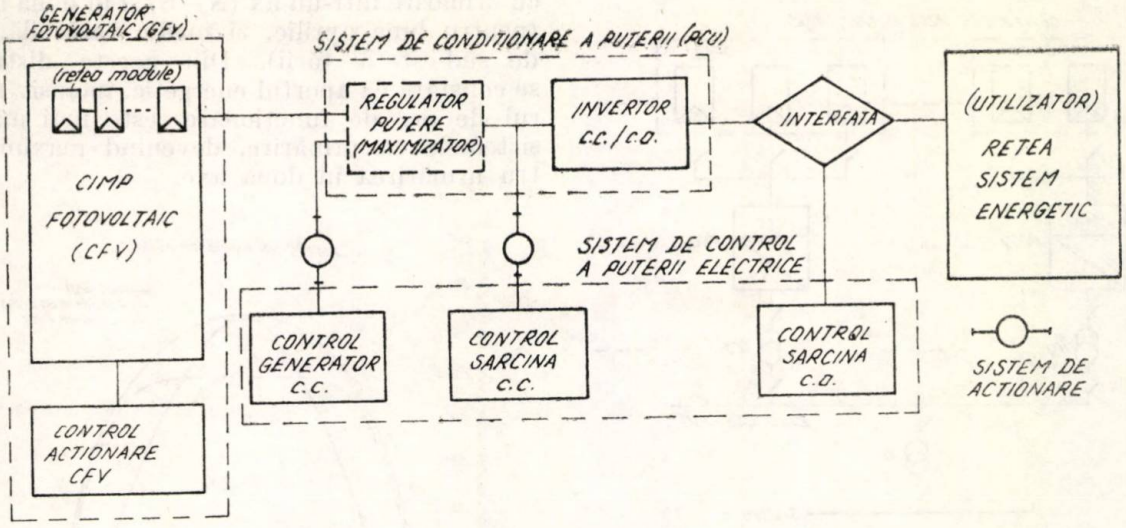


Fig. 1. Centrală solaroelectrică fotovoltaică (CSE—FV) de sistem. Schemă de ansamblu.

— echipamentul de interconectare la sistem (comutație, protecție, transformatoare);

— sisteme de control pentru cîmpul fotovoltaic și al puterii electrice în c.c. și c.a.

Principalele particularități care caracterizează în general instalațiile fotovoltaice și în special CSE—FV destinate sistemului energetic sînt:

— caracterul intermitent al funcționării CSE—FV;

— caracterul variabil al puterii electrice produse de GFV;

— utilizarea unor echipamente de condiționare a puterii PCU cu condiții specifice de funcționare.

În continuare se va face o analiză succintă privind principalele implicații tehnico-economice determinate de aceste particularități. Această analiză va trebui completată, în mod necesar, cu aspecte noi care pot fi studiate numai pe baza unor cercetări experimentale pe o instalație pilot echipată și dotată corespunzător asigurării facilităților impuse de obiectivele multiple ale cercetărilor.

1.1. Caracterul intermitent de funcționare a CSE—FV de sistem

Funcționarea intermitentă a CSE — FV de sistem, datorată condițiilor naturale de însoliere și meteorologice specifice unui amplasament dat, determină realizarea unui număr de ore de funcționare variabile — diurn, lunar și anual — a centralei. Maximizarea energiei efectiv captate și asigurarea unui număr de ore de funcționare cît mai mare (cel puțin durata de utilizare anuală a puterii nominale) are o importanță deosebită pentru atingerea unor indicatori tehnico-economici favorabili.

Actualmente, soluția cea mai răspîndită pentru asigurarea funcționării instalațiilor fotovoltaice în perioade nefavorabile (zile acoperite sau pe timpul nopții), chiar și pentru aplicații electroenergetice, este utilizarea bateriilor de acumulatoare, dar aceasta nu se justifică tehnico-economic decît pentru puteri reduse (zeci de kilowați) și ca urmare nu este aplicabilă la CSE—FV de sistem. În aceste condiții, direcțiile în care se acționează pentru creșterea disponibilității CSE—FV, din faza de concepție și proiectare sînt, în principal:

— realizarea unei modularizări (în rețele FV) optimizate a ansamblului CSE—FV;

— adoptarea unor tehnologii de realizare a cîmpului fotovoltaic care să permită creșterea numărului de ore de funcționare a centralei și la niveluri de putere, captată și livrată, cît mai mari.

În ceea ce privește modularizarea CSE—FV, aceasta are în vedere structurarea ansamblului centralei pe secțiuni distincte i ($i = 1,2,3 \ldots$), cu funcționare practic separată, fiecare cuprinzînd generatorul fotovoltaic GFVi și echipamentul de condiționare a puterii PCUi care debitează independent energie în sistem (sau într-o bară comună intermediară cuplată la sistem printr-un transformator general Tr al centralei).

În figura 2 este prezentată o schemă de principiu a CSE—FV organizată modular.

Este de menționat faptul că trebuie avută în vedere și soluția ca, fiecare generator fotovoltaic GFVi, la rîndul său să fie organizat în rețele și subrețele fotovoltaice, astfel încît, în cazul indisponibilității uneia din subrețele, celelalte să poate debita energie, prin PCUi corespunzător, la sistem.

În privința sistemelor de control pentru cîmpul fotovoltaic și al puterii electrice debitate, acestea trebuie adaptate cerințelor funcționării modularizate a CSE—FV.

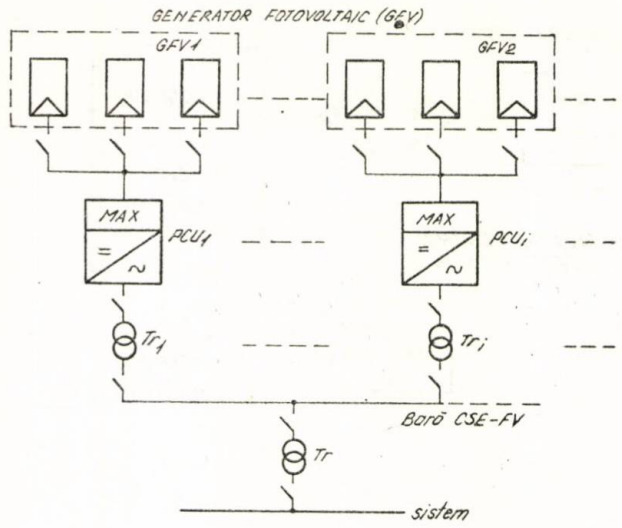


Fig. 2. Organizarea modulară a CSE—FV. Schemă de principiu.

Gradul de modularizare trebuie optimizat atît din considerente de creştere a disponibilităţii CSE—FV, cît şi, în special, din punct de vedere tehnico-economic. Informativ, din datele din literatură [2] CSE—FV Carissa de 6500 kW este structurată în nouă reţele FV, utilizîndu-se nouă invertoare de 750 kVA care debitează în bara centralei de 12 kV şi este cuplată la sistem (115 kV) prin intermediul unui transformator Tr; în acest fel, scoaterea din funcţiune a uneia din reţelele FV conduce la o reducere a disponibilităţii de putere de circa 10 %.

Cealaltă direcţie principală de creştere a disponibilităţii CSE—FV, respectiv adoptarea unor tehnologii optime de captare şi conversie a energiei solare de către cîmpul fotovoltaic, are în vedere în primul rînd maximizarea energiei incidente efectiv captate, corelată cu creşterea numărului mediu de ore de funcţionare diurnă (lunară, anuală) a CSE—FV.

Principalele tehnologii de captare şi conversie fotovoltaice a energiei solare utilizează următoarele sisteme de captare:

— captatoare fixe, înclinate la un unghi depinzînd de latitudinea locului şi de scopul aplicaţiei, avînd suprafaţa de captare orientată spre sud (în emisfera nordică);

— captatoare cu urmărire într-un ax, cu posibilităţi de deplasare unghiulară (rotire) în jurul axului orientat după direcţia N—S, E—V sau polar;

— captatoare cu urmărire în două axe, normala la suprafaţă fiind îndreptată permanent pe direcţia radiaţiei solare incidente.

O analiză detaliată asupra acestor tehnologii de captare este cuprinsă în lucrarea [4]. În figura 3 sînt prezentate, comparativ, distribuţia diurnă a intensităţii radiaţiei solare efectiv captate pentru trei sisteme fotovoltaice — fix, cu urmărire într-un ax (N—S) şi în două axe — (pentru luna aprilie, zi medie variabilă, zona de sud-est a ţării). Din aceste distribuţii se constată că aportul energetic, inclusiv numărul de ore de funcţionare, este mai mare la sistemele cu urmărire, devenind maxim pentru urmărirea în două axe.

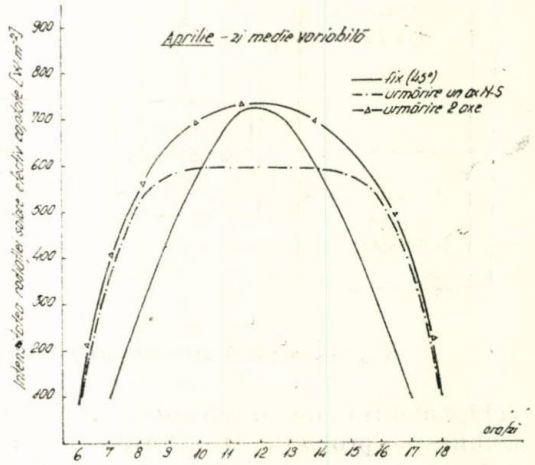


Fig. 3. Distribuţia diurnă (tipică) a intensităţii radiaţiei solare efectiv captate pentru diferite sisteme fotovoltaice.

Alegerea tehnologiei de captare trebuie făcută pe baza unei analize tehnico-economice aprofundate ţinînd seama şi de evoluţia costurilor modulelor fotovoltaice. Faţă de costurile actuale şi cele estimate pe termen mediu se consideră mai avantajoasă [3] utilizarea sistemelor de captare cu urmărire într-un ax pentru CSE—FV de sistem (centrala SMUD, Sacramento — 100 MW, centrala PVUSA, Davis — 10 MW, SUA). În cazul unor costuri scăzute pentru modulele fotovoltaice (sub 1 $/Wv), se apreciază că CSE—FV care utilizează sisteme de captare fixe vor deveni competitive; ca urmare, s-au construit, sau se află în fază de proiect, şi CSE—FV cu cîmp de captatoare fotovoltaice fixe, pentru cercetări experimentale în vederea perfecţionării şi optimizării acestor sisteme (centrala NEDO—1 MWv, Japonia, Delphos — 1 MWv, Italia, RWE — 1,35 MWv, RFG).

Caracterul intermitent de funcţionare a CSE—FV impune şi o serie de măsuri tehnico-organizatorice specifice, în primul rînd în ceea ce priveşte generatorul fotovoltaic, dintre care mai importante sînt:

— exploatarea CSE—FV pe baza unui program de funcţionare riguros, care să cuprindă orele de pornire şi oprire a funcţionării CSE—FV pentru fiecare zi calendaristică;

— dotarea CSE—FV cu un echipament adecvat pentru depistarea, în timpul funcţionării, a reţelelor FV care prezintă defecţiuni şi eliminarea operativă a acestora. În ceea ce priveşte modulele defecte, acestea trebuie înlocuite cu altele de rezervă;

— organizarea, pe baza unui program, a activităţilor de revizie şi întreţinere curentă, de regulă în afara intervalelor de timp favorabile funcţionării (după apusul soarelui sau în zilele nefavorabile);

— asigurarea unui serviciu permanent de măsurare şi înregistrare a datelor de însoleiere şi climatice pentru determinarea riguroasă a parametrilor tehnico-funcţionali şi economici ai CSE—FV.

1.2. Caracterul variabil al puterii electrice produse de generatorul fotovoltaic

Caracterul variabil diurn al puterii electrice produse de generatorul fotovoltaic este determinat de distribuţia diurnă, variabilă, a intensităţii radiaţiei solare incidente (vezi figura 3).

Variabilitatea — diurnă, lunară şi anuală — a puterii electrice debitate de generatorul fotovoltaic din componenţa CSE—FV este dependentă şi de o serie de alţi factori, dintre care mai importanţi sînt: modificarea sezonieră a condiţiilor (naturale) de insolaţie, variaţiile de temperatură ale mediului, degradarea în timp (datorită unor procese fizico-chimice) a parametrilor de funcţionare ai celulelor solare care echipează modulele fotovoltaice. De asemenea, la pasaje de nori, sau alte cauze perturbatoare, apar regimuri tranzitorii, lente sau mai rapide.

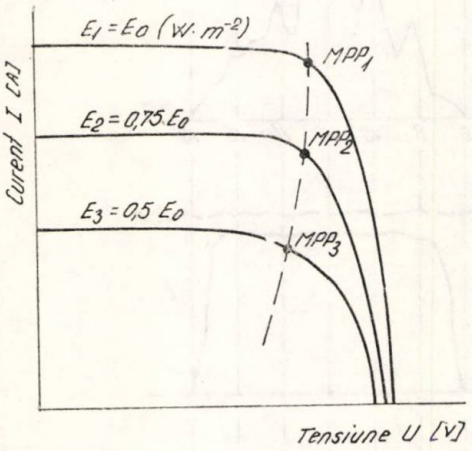


Fig. 4. Caracteristica curent-tensiune a generatorului fotovoltaic (GFV). Distribuţia punctului de funcţionare la putere maximă MPP.

Caracteristica curent-tensiune $I = I(U)/E = \text{const.}$ (parametrul E (W.m^{-2}) fiind intensitatea radiaţiei solare globale) tipică pentru GFV este reprezentată în figura 4. Punctul de funcţionare MPP corespunde maximului de putere debitată de GFV pentru o anumită valoare a intensităţii E. Pe figură este trasată curba pe care evoluează poziţia MPP în timpul unei zile senine. În figura 5 sînt prezentate caracteristicile curent-tensiune variabile cu se-

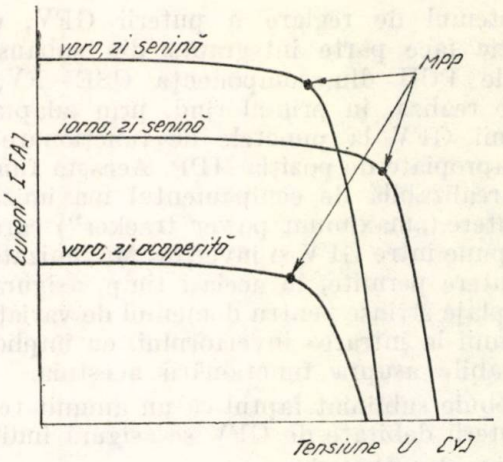


Fig. 5. Variaţia sezonieră a caracteristicii curent-tensiune şi a poziţiei MPP.

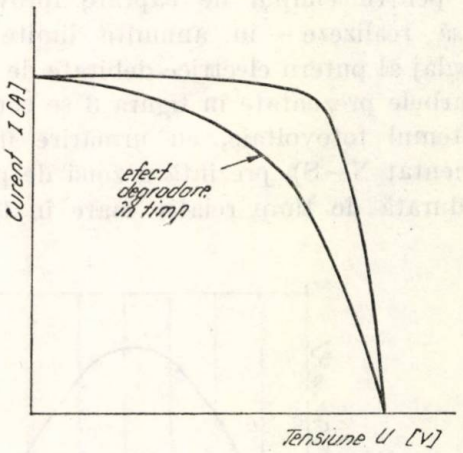


Fig. 6. Influenţa degradării în timp a performanţelor celulelor solare asupra caracteristicii curent-tensiune a modulului fotovoltaic.

zonul, respectiv cu condiţiile meteorologice: cer acoperit sau senin, temperatură etc. În ceea ce priveşte degradarea (în special datorită temperaturilor ridicate) a parametrilor electrici de funcţionare a modulelor fotovoltaice, aceasta duce la o modificare a caracteristicii iniţiale curent — tensiune a modulului şi a GFV (fig.6).

Din analiza caracteristicilor prezentate în figurile 4,5 şi 6 se constată că, datorită condiţiilor specifice de funcţionare a instalaţiilor fotovoltaice, se produce o modificare diurnă, sezonieră şi anuală a poziţiei punctelor MPP corespunzătoare puterii maxime disponibile la bornele GFV. Abaterile faţă de punctele de funcţionare de proiect, care se situează în apropierea poziţiei MPP pentru anumite condiţii iniţiale impuse, duc la extragerea unei puteri din generatorul fotovoltaic mai mici decît poate debita acesta la un moment dat. Ca urmare, aceste aspecte specifice instalaţiilor fotovoltaice impun adoptarea unor soluţii tehnice care să asigure o reglare a puterii în scopul maximizării energiei debitate de GFV.

Sistemul de reglare a puterii GFV, care practic face parte integrantă din subansamblurile PCU din componenţa CSE—FV, se poate realiza, în primul rînd, prin adaptarea sarcinii GFV la punctele de funcţionare cît mai apropiate de poziţia MPP. Această funcţie este realizabilă de echipamentul maximizator de putere („maximum power tracker") care se interpune între GFV şi invertor. Maximizatorul de putere permite, în acelaşi timp, asigurarea unei plaje strînse pentru domeniul de variaţie a tensiunii la intrarea invertorului, cu implicaţii favorabile asupra funcţionării acestuia.

Trebuie subliniat faptul că un anumit reglaj al puterii debitate de GFV se asigură indirect şi prin alte procedee:

— alegerea unor soluţii energetice şi tehnologice pentru cîmpul de captare fotovoltaic care să realizeze — în anumite limite — un autoreglaj al puterii electrice debitate de GFV. Din curbele prezentate în figura 3 se constată că sistemul fotovoltaic, cu urmărire într-un ax (orientat N—S), prezintă o zonă de platou pe o durată de timp relativ mare în timpul zilei, care asigură o constanţă a poziţiei punctului de funcţionare al GFV;

— modificarea unghiului de înclinare a captatoarelor (continuu, periodic sau intermitent), care se poate aplica practic numai sistemelor fotovoltaice cu urmărire. În cazul captatoarelor fixe reglajul se poate, în principiu, efectua prin cuplarea/decuplarea unor reţele sau subreţele FV din structura GFV, dar acest lucru nu este eficient.

În ceea ce priveşte regimurile tranzitorii care apar în funcţionarea CSE—FV, acestea au implicaţii în principal asupra caracteristicilor tehnico-funcţionale ale PCU (maximizatorul de putere, invertorul), ale transformatoarelor şi echipamentelor de comutaţie care trebuie să permită o funcţionare normală în aceste situaţii.

În figura 7 sînt prezentate, comparativ, variaţia diurnă a parametrilor electrici (tensiune şi curent c.c. şi c.a.) funcţie de distribuţia intensităţii radiaţiei solare incidente pentru zi normală (senină sau medie variabilă) (fig. 7 *a*), respectiv pentru o zi cu pasaje de nori—regim fluctuant (fig. 7*b*).

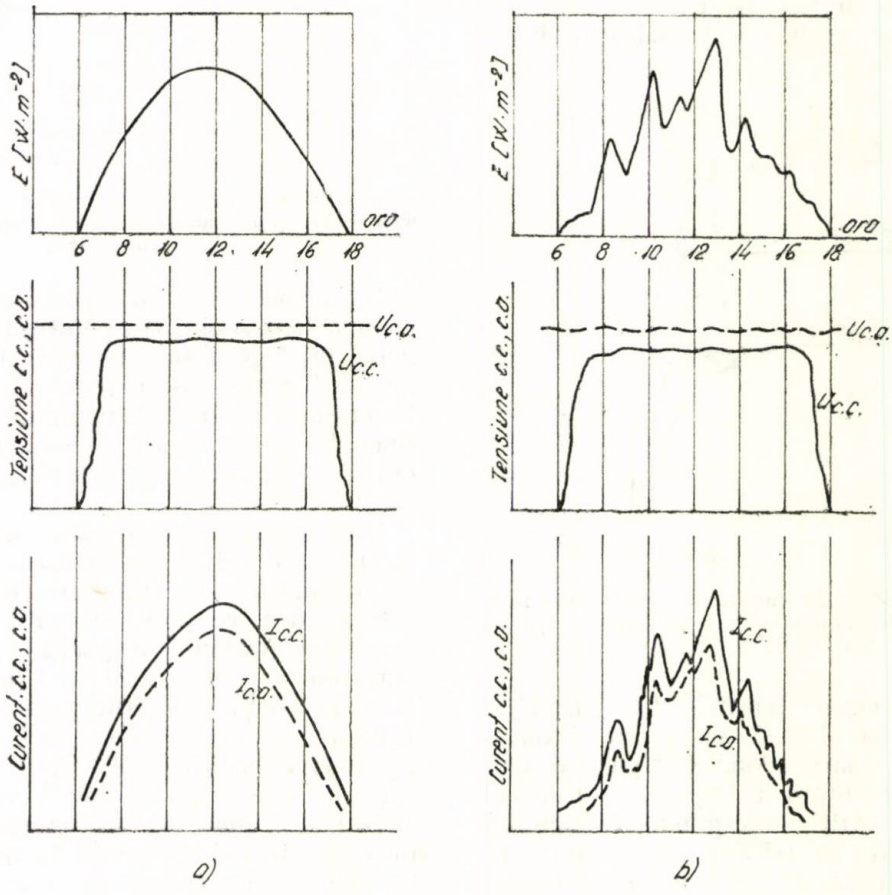


Fig. 7. Evoluţia diurnă a parametrilor electrici — tensiune, curent—funcţie de distribuţia intensităţii radiaţiei solare: a—zi normală senină; b—zi cu pasaje de nori (regim fluctuant).

1.3. Probleme specifice privind invertoarele și conectarea la sistem a CSE—FV

Interconectarea la sistemul energetic al CSE—FV necesită un echipament invertor care reprezintă o interfață între două sisteme electrice (de putere) care diferă profund între ele prin modul în care se manifestă: puterea electrică în c.c, variabilă și intermitentă, produsă de generatorul fotovoltaic, și puterea electrică în c.a, riguros controlată ca frecvență și tensiune, din rețeaua sistemului energetic.

Sistemul de condiționare a puterii PCU trebuie să asigure — în principal prin regulatorul de putere (maximizatorul) și invertor — livrarea de energie electrică în curent alternativ compatibilă rețelei de distribuție.

De asemenea, apariția unor regimuri tranzitorii în rețea — suprasarcină, supratensiuni, goluri de tensiune etc. — impune asigurarea cu sisteme de protecție corespunzătoare.

Caracteristicile funcționale ale invertoarelor utilizate la CSE—FV au implicații deosebite, atît în ceea ce privește obținerea performanțelor tehnico-economice ale CSE—FV, cît și în privința capacității de a răspunde condițiilor impuse de interconexiunea la rețea.

O problemă deosebită privind echipamentul invertor este randamentul. Realizarea unor invertoare cu randamente cît mai mari, corespunzătoare atît puterii nominale, cît și puterilor parțiale, reprezintă un aspect esențial pentru aplicațiile electroenergetice ale filierei fotovoltaice. Chiar dacă se realizează celule solare, respectiv module fotovoltaice, perfecționate, cu eficiență de conversie ridicată, un randament scăzut al invertorului duce la o diminuare nedorită a eficienței globale a CSE—FV.

În figura 8 sînt prezentate influența valorii randamentului invertorului asupra producției zilnice de energie electrică în c.a. (figura 8 *a*), precum și curbele de variație a randamentului funcție de puterea electrică debitată de invertor (figura 8 *b*), pentru două tipuri de invertoare cu randamente nominale diferite ($\eta_1 < \eta_2$).

Atît în țară, cît și pe plan mondial există preocupări privind realizarea de invertoare specializate, destinate aplicațiilor electroenergetice solare, cu randamente cît mai ridicate, prin utilizarea unor scheme electronice perfecționate și componente de comutație adecvate [5].

În afară de randament, invertoarele trebuie să prezinte și alte caracteristici tehnice, cu preformanțe cît mai bune, în ceea ce privește:

— calitatea energiei electrice livrate: amplitudinea și frecvența, inclusiv abaterile maxime permise, să urmărească și să corespundă parametrilor de funcționare a rețelei (monofazate sau trifazate);

— stabilitatea tensiunii la ieșirea invertorului să fie cît mai bună (sub 1 %) pentru variații cumulate ale sarcinii și tensiunii de alimentare;

— factorul de putere cît mai ridicat (aproape de unitate) chiar pentru puteri parțiale reduse (10 — 20 %);

— forma de undă cît mai aproape de sinusoidă, cu factor de distorsiuni de valoare redusă;

— distorsiunile armonice, care se propagă în rețea, cît mai mici (sub 5 %), efectul acestora fiind defavorabil în special la instalații fotovoltaice de puteri mari;

— fiabilitatea ridicată;

— posibilitatea funcționării la regimurile tranzitorii ale generatorului fotovoltaic;

— asigurarea protecțiilor — cu sisteme ultrarapide interne sau externe — în cazul unor regimuri accidentale în rețea sau la intrarea invertorului.

Deși nu s-au prezentat distinct, trebuie avute în vedere și caracteristicile tehnico-funcționale ale transformatoarelor care realizează adaptarea la parametrii rețelei la care se conectează CSE—FV.

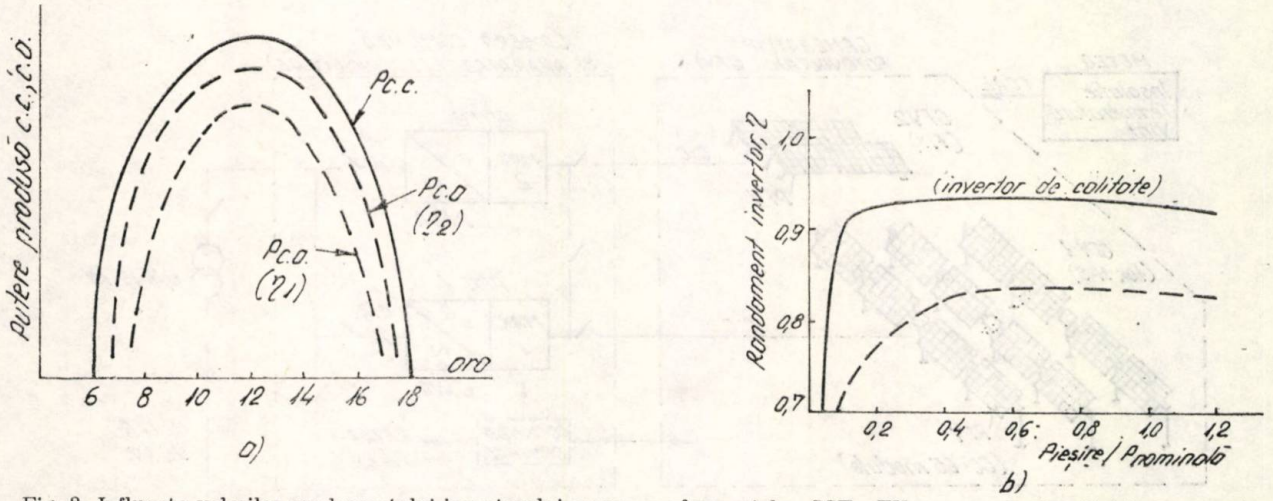


Fig. 8. Influența valorilor randamentului invertorului asupra performanțelor CSE—FV: a—producția zilnică de energie electrică; b—variația randamentului cu sarcina.

2. Pilot experimental (5 kW) pentru CSE—FV. Obiective. Concepţia de ansamblu

Oportunitatea realizării unui pilot experimental pentru CSE—FV de sistem rezultă din necesitatea aprofundării aspectelor specifice (cum sînt cele prezentate la pct. 1) şi verificării soluţiilor energetice şi tehnologice adaptate în scopul realizării de centrale solaroelectrice fotovoltaice de sistem.

Trebuie subliniat că, aşa cum rezultă şi din activităţile desfăşurate pe plan mondial în acest domeniu, un nivel de putere redus (5 kW) nu are repercusiuni negative în privinţa generalizării rezultatelor, datelor şi informaţiilor obţinute pentru realizarea de CSE—FV de puteri mari, în primul rînd datorită caracterului modular ce caracterizează concepţia acestor centrale. De asemenea, soluţiile tehnologice adoptate pentru diferite subsisteme ale pilotului sînt concepute pentru a fi aplicate la CSE—FV de putere.

2.1. Obiective principale

Lucrările de cercetare-proiectare au în vedere realizarea unui pilot experimental de 5 kW pentru CSE—FV de sistem pe care se vor desfăşura experimentări de durată ce au, în principal, următoarele obiective:

— experimentări asupra soluţiilor energetice şi tehnologiilor de captare şi conversie fotovoltaică a energiei solare în energie electrică;

— experimentări funcţionale de durată asupra cîmpului fotovoltaic (componenta de bază a generatorului fotovoltaic), optimizări de modularizare şi de interconexiune a modulelor fotovoltaice;

— testarea soluţiilor constructive şi de acţionare în cîmpul fotovoltaic;

— comportarea în funcţionare şi evoluţia în timp a parametrilor tehnico-funcţionali în condiţii reale de exploatare;

— testarea, la utilizator, a modulelor fotovoltaice cu performanţe îmbunătăţite care vor fi realizate de producător;

— fiabilitatea modulelor fotovoltaice şi a celorlalte echipamente mecanice şi electrice (maximizator, invertor, aparatajul electric);

— experimentări privind interconectarea la sistem, calitatea energiei electrice produse;

— probleme de exploatare şi întreţinere;

— caracteristici tehnico-funcţionale de ansamblu: energie solară efectiv captată şi livrată în reţea corelat cu măsurătorile de însoleiere şi de mediu, randament mediu anual pe subsisteme şi pe ansamblul instalaţiei;

— indicatori tehnico-economici.

2.2. Concepţia de ansamblu

Ţinînd seama de diversitatea aspectelor tehnice şi tehnologice ce trebuie soluţionate, verificate şi, mai ales, optimizate, atît în perioada de realizare a pilotului, cît şi pe durata experimentărilor de durată, în elaborarea concepţiei de ansamblu pentru acest pilot s-a avut în vedere atingerea tuturor obiectivelor prezentate mai sus.

Ca urmare, este prevăzut ca ansamblul pilotului experimental (fig. 9) să cuprindă în principal:

a) Generatorul fotovoltaic (GFV), care va avea următoarea structură:

— GFV1 — cîmp de captare cu urmărire într-un ax (orientat N—S) format dintr-un număr de şiruri paralele, echidistante, de panouri fotovoltaice (PFV). Un şir va cuprinde 4 ···· 6 PFV amplasate pe arbori coaxiali astfel încît, prin intermediul unui mecanism de acţionare, acestea să se poate roti simultan

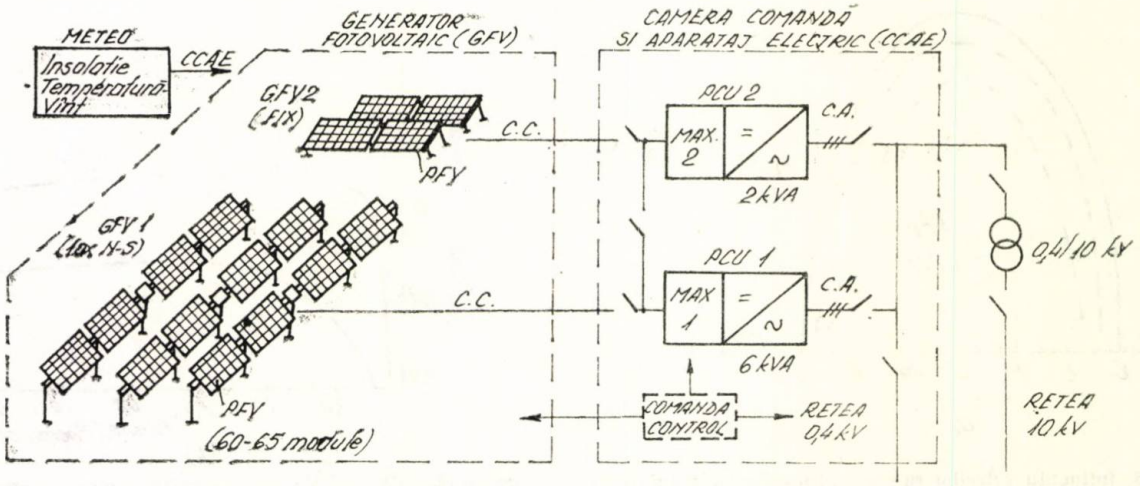


Fig. 9. Pilot experimental (5kW) pentru CSE—FV.Concepţia generală de ansamblu.

în jurul axei longitudinale, urmărindu-se deplasarea aparentă diurnă a Soarelui de la est la vest ;

— GFV 2 — cîmp de captatoare fixe, cu unghi de înclinare reglabil (30.... 55°) și orientat cu suprafața de captare spre sud. Acest cîmp va fi echipat cu panouri fotovoltaice identice cu cele utilizate la GFV1.

Panourile fotovoltaice sînt realizate prin interconectarea serie/paralel a modulelor fotovoltaice, astfel încît fiecare panou să reprezinte o unitate distinctă constructivă și de putere electrică (respectiv tensiunea și curentul continuu la borne).

b) Unitățile de condiționare a puterii PCU, realizate astfel :

— PCU 1, maximizator și invertor (de 6 kVA, 380 V trifazat) pentru GFV 1 ;

— PCU 2, maximizator și invertor (de 2 kVA, 380 V trifazat) pentru GFV 2.

În acest fel fiecare subsistem GFV cu PCU aferent poate debita în rețeaua de 0,4 kV independent. Este prevăzută și posibilitatea ca ambele generatoare fotovoltaice GFV 1 și GFV 2 să debiteze pe unitatea PCU 1.

c) În schema de ansamblu a pilotului experimental este prevăzut și un transformator 0,4/10 kV pentru a debita în rețeaua de 10 kV.

d) Echipament de comandă și control ale funcționării.

e) Echipamentul electric de comutație și protecție.

f) Scheme și aparatură de măsură și înregistrare de laborator.

g) Baterie de acumulatoare, pentru asigurarea unor alimentări electrice de siguranță, pentru situații neprevăzute.

Îmbunătățirile sau completările în structura și organizarea ansamblului pilotului experimental se vor face funcție de necesitățile impuse de desfășurarea în condiții optime a experimentărilor de durată, de aspectele noi care vor apărea pe parcursul acestora sau de apariția unor tipuri noi de module fotovoltaice, cu performanțe superioare și la costuri cît mai scăzute, care vor putea fi testate pe pilotul experimental.

Bibliografie

[1] Swan, C. Christopher. *Suncell. Energy, Economy and Photovoltaics.* Sierra Club Books, San Francisco, 1986.

[2] * * * Arco Solar News, vol. 4, nr. 2, 1984.

[3] Anderson, M. W., Thorpe, D., Collier, D. *Solar photovoltaic project.* În : Modern Power Systems, vol. 5, iulie 1985.

[4] Turcu, I., Popescu, C., Mihăileanu, C *Soluții alternative privind concepția de ansamblu a centralelor solaroelectrice fotovoltaice pentru energetica de sistem,* În : Energetica, vol 35, nr. 1, 1987, p. 30—35.

[5] O' Sullivan, G. *DC/AC inverters : a survey Photovoltaics.* The Electric Magazine, 1987.

[6] Zweibel, K., Hersch, P. *Basic -photovoltaic principles and methods,* SERI 1984.

[7] Atmaram, G. H. *Operational experience with grid — connected photovoltaic systems,* FSEC, Solar engineering, vol. 1, 1987.

[8] Rizk, G. *5 kW grid connected PV system-a demonstration plant in Jacksonville.* În : JEA, Solar engineering, vol 1, 1987.

(Primit la 6 iulie 1989, acceptat la 14 iulie 1989)

NOUTĂȚI

Din energetica mondială

SCURTE ȘTIRI DIN DOMENIUL ENERGETCII MONDIALE

● Prin intrarea în funcțiune, în anul 1987, a 23 noi CNE în 8 țări, numărul total de CNE în lume a atins cifra de 417, iar ponderea acestora în producția mondială de energie electrică — valoarea de 16%.

● În R. P. Chineză se construiesc într-un ritm rapid UHE pe Riul Galben. Din cele 15 UHE planificate au fost date în exploatare cinci, cu o putere totală de 3240 MW.

● În S.U.A. au fost începute lucrările de asimilare a unor motoare diesel care funcționează cu gaze din cărbune.

● Agenția de protecție a mediului ambiant din S.U.A. a publicat un raport privind influența reziduurilor rezultate de la extracția petrolului și a gazelor naturale asupra mediului.

● În laboratorul ,,Batelle'' din S.U.A. se elaborează cercetări privind măsurile eficiente din punct de vedere economic în lupta cu coroziunea coșurilor de fum de la centralele electrice pe cărbune, în corelare cu tehnologiile de ardere a cărbunilor.

● Pentru sfîrșitul anului 1988 se preconizează punerea în funcțiune a LEA R.F.G. — Berlinul Occidental, cu traseul prin teritoriul R.D.G., al cărei cost de investiție este de 350 mil. DM (R.F.G.). În concordanță cu acordul încheiat, R.D.G. va avea posibilitatea să furnzeze energie electrică atît în R.F.G., cît și în Berlinul Occidental.

* * *

Conferințe, seminarii și expoziții în domeniul energeticii, în lume :

— Canada : conferință cu tema ,,UHE de mică putere''

— Franța : conferință cu tema ,,Asimilări de baterii de acumulatoare cu Pb perfecționate''

— Mexic : expoziția mondială ,,Hidro 1989''

— Brazilia : seminar privind obținerea energiei din biomasă

— Anglia : ● Prima conferință și expoziție mondială privind utilizarea mijloacelor de transport pentru energetica nucleară

● Conferință privind starea actuală și perspectivele dezvoltării gazeificării

(După : Referativnîi jurnal, 22, Energhetika, nr. 9/1988, poz. 9T59 și 9T38 și nr. 10/1988, poz. 10T34)

Sisteme fotovoltaice de pompare

Ing. ANCA ZAHARIA*

Descriptori :generatoare fotovoltaice, instalaţii de pompare

În lucrare sînt prezentate aspecte generale legate de funcţionarea sistemelor de pompare cuplate direct la panouri fotovoltaice, precum şi rezultatele experimentale obţinute cu două tipuri de astfel de instalaţii, comparativ cu pompe similare din străinătate.

În încheiere sînt prezentate tendinţele actuale şi viitoare legate de realizarea unor astfel de instalaţii.

The report approaches several general operating issues of pumping systems directly coupled to photovoltaic panels, as well as the experimental results obtained with two such facilities.

The report also sets forth the present and future trends in the manufacturing of these fa ilities.

Introducere

Un sistem de pompare fotovoltaic este format din trei componente de bază : sursa electrică, care în acest caz este generatorul fotovoltaic, convertizorul electromagnetic, respectiv motorul electric, şi sarcina mecanică, pompa. Pentru că energia solară este o sursă aleatoare de energie, sînt utilizate ca sisteme de stocare, în cazul acestor aplicaţii, fie baterii de acumulatoare electrice, fie tancuri de acumulare a apei pompate, care semnifică o acumulare de energie sub formă potenţială, direct în apă. În figura 1 sînt prezentate comparativ randamentele globale ale instalaţiilor de pompare fotovoltaice pentru cele două variante de stocaj : electric şi hidraulic.

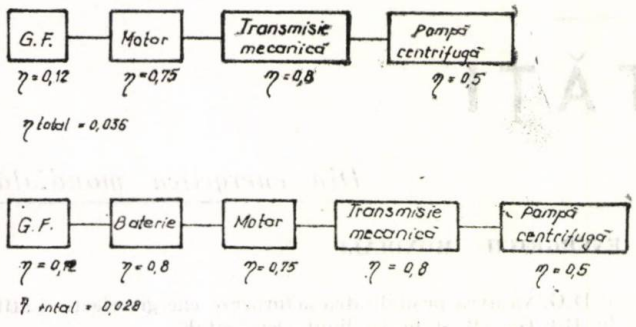


Fig. 1. Randamentele globale ale instalaţiilor de pompare cu stocare electrică sau hidraulică a energiei.

Utilizarea judicioasă a surselor de energie neconvenţională se face folosind un număr cît mai mic de elemente de conversie cu randamente cît mai ridicate. Randamente bune de utilizare pot fi obţinute în cazul sistemelor de pompare prin cuplarea directă a motoarelor de c.c. la panouri fotovoltaice cu stocare hidraulică a energiei. Aceste sisteme prezintă, în afara unor randamente ridicate, avantajele unor porniri uşoare ale motoarelor de c.c. (nu mai sînt necesare reostatele de pornire) şi ale unei întreţineri minime în funcţionare.

1. Bazele teoretice ale cuplării directe la panouri fotovoltaice a sistemelor de pompare

Generatorul fotovoltaic se obţine prin cuplarea serie şi/sau în paralel a mai multor module fotovoltaice, fiind o sursă parametrică de putere finită cu caracteristici $I = f(V)$ la radiaţie solară globală constantă $\Phi_n = ct.$ şi o temperatură ambiantă constantă $T_a = ct.$, de tipul celor din figura 2.

Punctele puterii maxime corespunzătoare fiecărui parametru Φ (radiaţie solară globală) generează o curbă loc geometric, care ar repre-

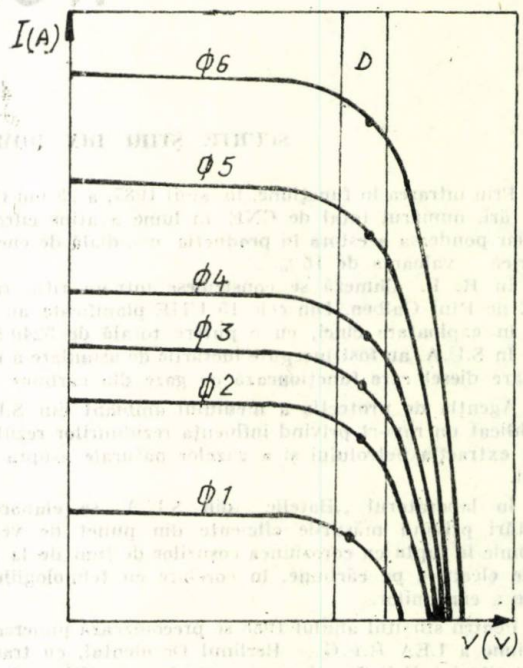


Fig. 2. Caracteristica generală a generatorului fotovoltaic.

* Ing. Anca Zaharia — Institutul de Cercetare Ştiinţifică şi Inginerie Tehnologică pentru Electrotehnică, Bucureşti.

zenta curba de sarcină ideală pentru care la orice radiație solară s-ar extrage maximul de putere din sursa fotovoltaică. Obținerea unor sisteme eficiente de pompare presupune adaptarea curbei de sarcină la curba de putere maximă.

Fiecare din cele trei elemente ale sistemului de pompare fotovoltaic este caracterizat de planul său de funcționare: planul electric (I,V), planul electromecanic $(n,\ I)$ și planul mecanic $(n,\ M)$ (fig. 3).

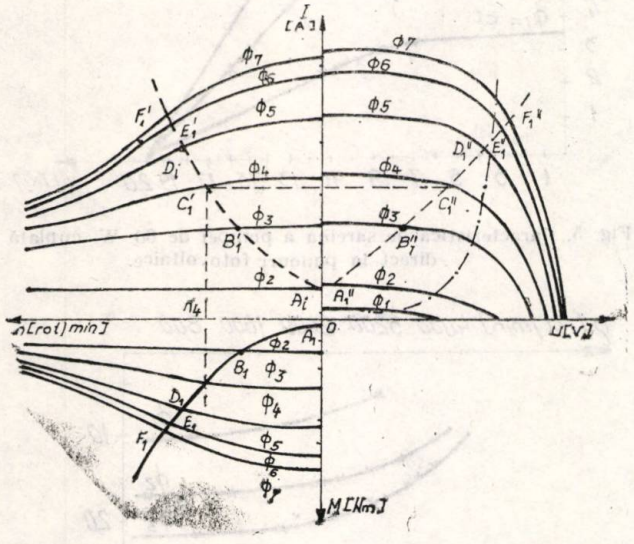


Fig. 3. Caracteristicile de funcționare ale subansamblului motor de c.c.—pompă cuplată direct la panouri fotovoltaice

În cazul practic, pentru o proiectare corespunzătoare trebuie ca transformata caracteristicii de sarcină din planul mecanic $(n,\ M)$ în planul electric $(I,\ V)$ să fie cît mai aproape posibil de curba puterii maxime și invers.

Pompa centrifugă are o caracteristică mecanică de forma:

$$M_p = K_p \cdot n_p^2 \ , \qquad (1)$$

unde: M_p este cuplul transmis pompei;
n_p — turația pompei;
K_p — constantă.

Cuplul necesar pompei este transmis de motorul electric care în cazul motorului de c.c. cu excitație serie sau cu magneți permanenți este de forma:

$$M_M = K_M \varphi I \qquad (2)$$

sau $$M_M = K_M I, \qquad (3)$$

unde: M_M este cuplul motorului;

K_M — constanta;
φ — fluxul magnetic inductor f(I);
I — curent absorbit de motor.

Perechilor de valori $(M_p,\ n)$ le corespund perechile de valori $(M_M,\ I)$, respectiv $(n,\ I)$.

Transferarea caracteristicii din planul (n,I) în planul (I,V) se face relativ simplu.

Ecuațiile de funcționare ale motorului de c.c. sînt:

$$E = Ke\ \varphi\ n, \qquad (4)$$

$$U_M = E + I \cdot R, \qquad (5)$$

unde:

E este tensiunea electromotoare;
Ke — constanta;
n — turația motorului;
U_M — tensiunea de alimentare a motorului;
I — curentul din indus;
R — rezistența indusului.

Tensiunea de alimentare a motorului, respectiv curentul, sînt date de sursa fotovoltaică pentru o radiație solară globală și o temperatură ambiantă dată.

Ecuația generatorului fotovoltaic este descrisă de:

$$U_g = -IR_s + \frac{1}{\lambda} \ln \left[\frac{K\Phi - \beta I - (U/R_{sh})}{I_0} + 1 \right], \qquad (6)$$

unde:

U_g este tensiunea generatorului fotovoltaic;
I — curentul generatorului fotovoltaic;
R_s — rezistența serie;
R_{sh} — rezistența șunt;
I_0 — curent de întuneric;
β — $1 + R_s/R_{sh}$.
λ — constantă.

Perechilor de valori $(n,\ I)$ le corespund în planul generatorului fotovoltaic perechile de valori $(V,\ I)$.

Caracteristicile de funcționare din figura 3 au fost trasate pentru diverse valori ale radiației globale constante $\Phi_1,\ \Phi_2 \cdot \ldots,\ \Phi_7$.

2. Rezultate experimentale

Studiul practic al cuplării directe la panouri fotovoltaice s-a efectuat pe un model de laborator (fig. 4) realizat din:

— motor de c.c. cu magneți permanenți, care prezintă avantajul unor randamente ridicate la puteri nominale mici comparativ cu motoarele de c.c. obișnuite, care au pierderi mari în înfășurarea indusului. Motorul utilizat a fost un motor de c.c. cu magneți permanenți și rotor disc, SRD—80 cu următoarele caracteristici tehnice:

$M_n = 31{,}8$ Ncm; $I_n = 13{,}6$ A; $n_n = 3000$ rot/min; $U_n = 17$ V; $\eta_n = 0{,}65$;

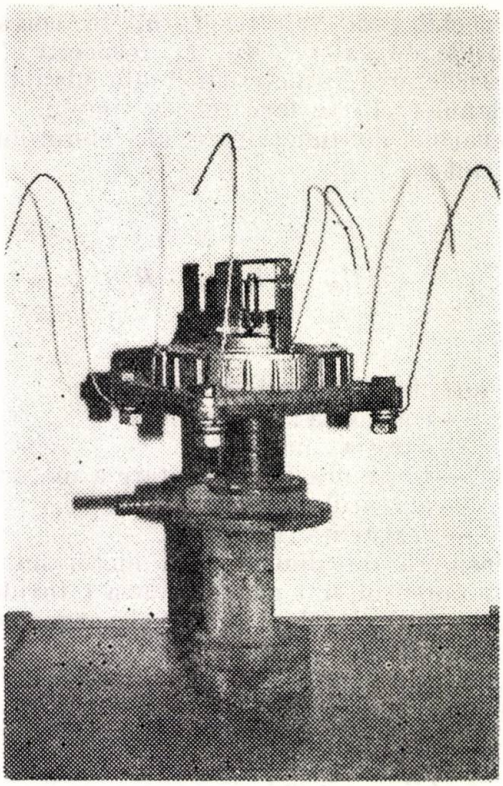


Fig. 4. Pompă centrifugă antrenată de motor de c.c. cu magneți permanenți $P = 80$W (model experimental).

— pompă centrifugă MU—25 cu următoarele caracteristici tehnice : $H_n = 2{,}5$ m ; $Q_n = 1$ m³/h

Panoul fotovoltaic a fost realizat prin cuplarea serie a patru module paralel și opt grupuri a patru module serie.

Un modul are următoarele caracteristici :

$I_{sco} = 2$A ; $V_{golo} = 5$V ; $P_{max} = 7$W ; $V_{max} = 4$ V ; $I_{max} = 1{,}75$ A.

Caracteristicile de sarcină sînt prezentate în figura 5 pentru diferite înălțimi de pomparl.

Figurile 6 și 7 reprezintă caracteristicile $I = f(n)/\Phi = ct.$ și $M = f(n)/\Phi = ct.$ pentru cuplarea generator fotovoltaic-motor de c.c., cît și transferarea caracteristicii de sarcină în planul (n, I).

Datorită randamentului relativ scăzut al pompei centrifuge și randamentul subsistemului motor-pompă este scăzut, variind între 8,9% și 6%, ceea ce implică un randament scăzut al întregului sistem. Pentru ridicarea randamentului subsistemului s-a realizat un al doilea model experimental (fig. 8), format din :

— motor de c.c. cu magneți permanenți și rotor disc SRD—350 cu următoarele caracteristici : $U_n = 62$ V ; $I_n = 7$ A ; $n_n = 3000$ rot/min ; $\eta_n = 78\%$.

— pompă periferială TUB—25 S cu următoarele caracteristici tehnice : $H_n = 25$ m ; $Q_n = 1{,}5$ m³/h.

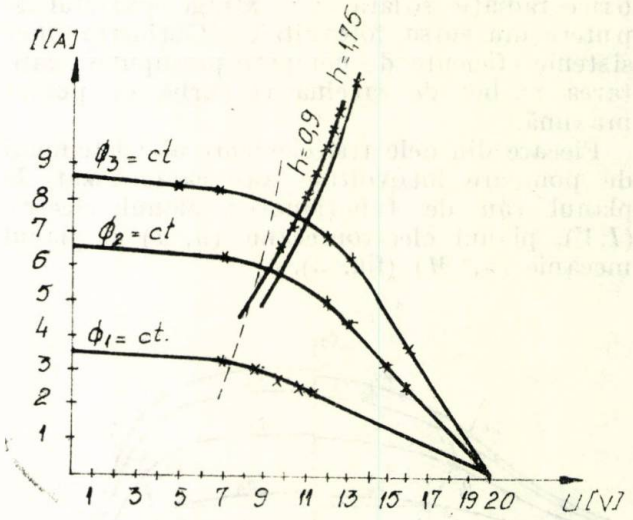


Fig. 5. Caracteristica de sarcină a pompei de 80 W cuplată direct la panouri fotovoltaice.

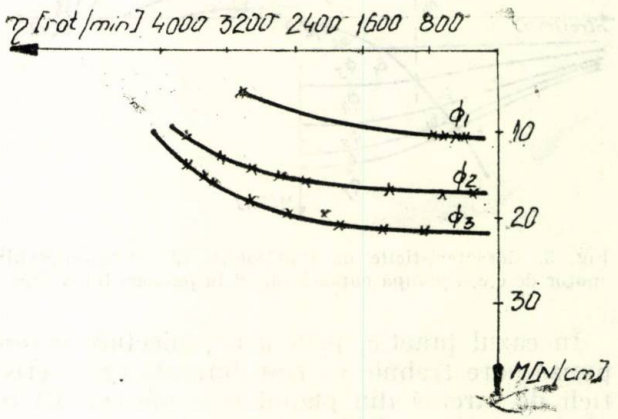


Fig. 6. Caracterističa mecanică a motorului de 80 W cuplat direct la panouri fotovoltaice.

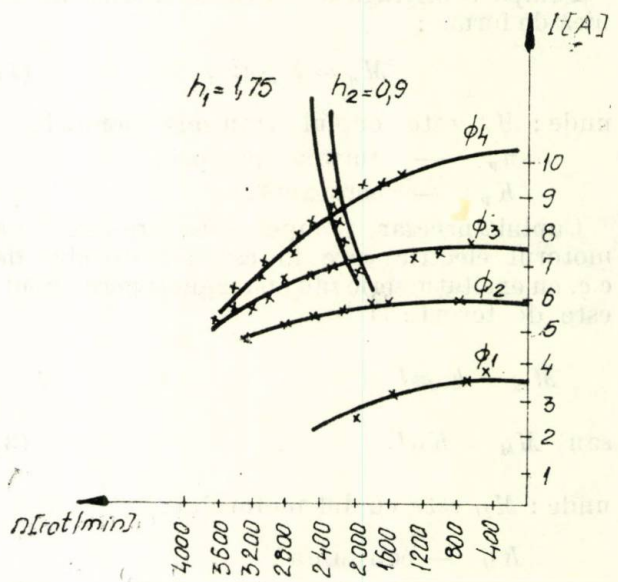


Fig. 7. Caracteristica electromecanică a motorului de 80W cuplat direct la panouri fotovoltaice.

Încercările realizate pe subsistemul motor-pompă au scos în evidenţă randamente cuprinse între 30,78 % la 2900 rot/min, $H_{stat} = 15$ m şi 26,97% pentru turaţii de 1500 rot/min, $H_{stat} = 12$ m.

Figura 9 reprezintă caracteristica de sarcină pentru diferite înălţimi de pompare realizate experimental, precum şi caracteristicile unui panou fotovoltaic realizat printr-un program de simulare a ariei fotovoltaice, formată din trei module serie şi patru grupuri în paralel. Caracteristicile tehnice ale unui modul fotovoltaic sînt : $I_{SCO} = 2{,}53$ A ; $V_{golo} = 21$ V ; $P_{max} = 37{,}2$ W ; $V_{max} = 16{,}71$ V.

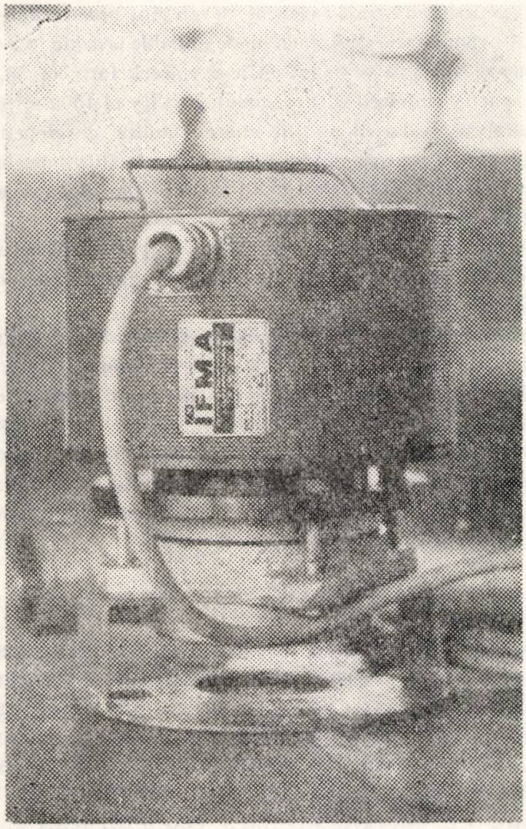


Fig. 8. Pompă periferială antrenată de motor de c.c. cu magneţi permanenţi $P_n = 350$ W (model experimental).

În ambele cazuri se observă o apropiere între curba de putere maximă şi curba de sarcină de la valori ale radiaţiei de 500—600 W/m², atingînd în punctul de putere maximă la 1000 W/m² punctul nominal de funcţionare.

Concluzii

Dacă optimizarea funcţionării ansamblului sistem de pompare fotovoltaică se poate anticipa printr-o simulare a ariei de panouri fotovoltaice şi modificări repetate ale structurii modulelor şi ale numărului de module serie-paralel pentru a apropia cele două caracteristici : curba de putere maximă şi curba de sarcină care rezultă experimental sau tot prin simulare,

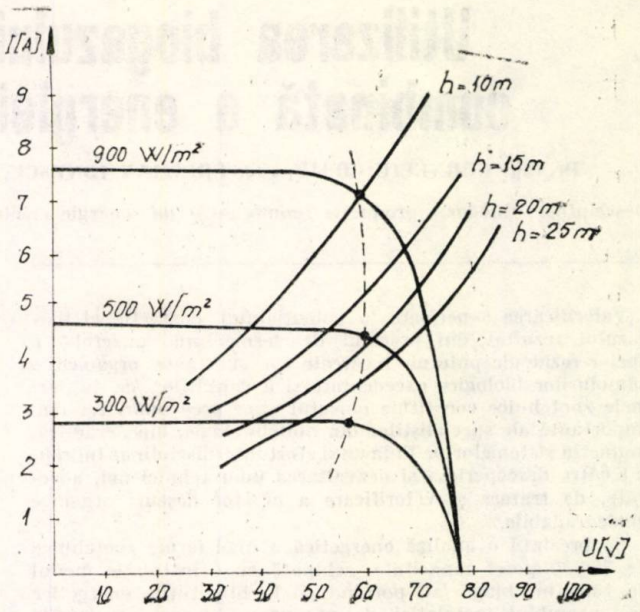


Fig. 9. Caracteristica de sarcină a pompei de 350 W cuplată direct la panouri fotovoltaice.

cunoscînd parametrii tehnici ai motorului şi ai pompei, randamentul subsistemului motor-pompă nu se mai poate anticipa ; el rezultă ca o consecinţă practică a proiectării celor două elemente componente : motor şi pompă.

Deci parametrul important în dimensionarea sistemelor de pompare fotovoltaice îl constituie randamentul subsistemului motor-pompă.

Un randament scăzut al subsistemului implică necesitatea unei arii de panouri fotovoltaice mari, pentru un acelaşi lucru mecanic util obţinut.

Al doilea model experimental are un randament mediu al subsistemului de 28%, randament similar cu cel al pompelor din literatura de specialitate, respectiv AEG, KSB, pentru perioada 1980—1985. În perioada 1985—1990 literatura de specialitate prevede randamente medii de 40% obţinute prin reproiectări şi noi tehnologii de execuţie. O perspectivă de dezvoltare în continuare o constituie pompele centrifuge sau periferice cuplate pe motoare de c.c. fără perii. Avantajele unor astfel de sisteme de pompare le constituie atît fiabilitatea ridicată a motorului, cît şi o anticipare de pompe submersibile printr-o eventuală reproiectare a unor astfel de motoare care pot funcţiona şi imersate în apă.

Bibliografie

[1] Appelbaum, J. *Performance analysis of d.c. motor photovoltaic convertor system II* În : Solar Energy, 27 (5) (1981) p. 421.

[2] Roger, J. A. *Theory of direct coupling between d.c. motors and photovoltaic arrays.* În : Solar Energy, 23 (3) (1979) p. 193.

[3] Mc Nelis, B. *Design and operation of solar photovoltaic system.* Rep. UNDP/ROM/82/002.

[4] Kenna, J. P. *Instrumentation, data logging and modelling of PV systems.* Rep. UNDP/ROM/82/002.

(Primit la 6 iulie 1989, acceptat la 14 iulie 1989)

Utilizarea biogazului pentru producerea combinată a energiei electrice și termice

Dr. ing. CORNELIU CRAIU, ing. CRISTIAN IONESCU, ing. NICOLAE MORĂRESCU, ing. SPERANȚA RASAN*

Descriptori: biogaz, producție combinată de energie electrică și căldură

Valorificarea superioară a potențialului energetic al biogazului rezultat din procesul de fermentare anaerobă a apelor reziduale puternic încărcate cu substanțe organice, a nămolurilor biologice excedentare și a dejecțiilor de la fermele zootehnice constituie obiectul unor preocupări tot mai importante ale specialiștilor din biotehnologie, bioenergetică, ingineria sistemelor pe linia unui efort interdisciplinar îndreptat către descoperirea și dezvoltarea unor tehnici noi, adecvate, de tratare și valorificare a acestor deșeuri organice biodegradabile.

Se prezintă o analiză energetică a unei ferme zootehnice de 30 000 porci capacitate, echipată cu o instalație modul de 1500 m³ biogaz/zi, pornind de la bilanțurile energetice pe ansamblul instalației de producere biogaz — instalație de utilizare a biogazului — complex zootehnic și punîndu-se în evidență atît producțiile de biogaz și de energie, cît și posibilitatea obținerii unui regim optim de consum caracterizat de un maxim de energie primară economisită.

Se scot în evidență criterii de alegere a soluției optime de valorificare a biogazului în asigurarea unui grad avansat de autonomie energetică.

Articolul prezintă caracteristicile tehnice și funcționale ale unui grup energetic sincron funcționînd cu biogaz, cu producere simultană de energie electrică și căldură, după un ciclu de recuperare, care iarna constituie instalație de intervenție pentru situația întreruperii alimentării cu energie electrică din SEN, iar vara funcționează în regim continuu, de bază, situație în care energia electrică produsă poate fi absorbită în totalitate de sistemul energetic.

The improved harnessing of biogas energy potential resulting out of the anaerobic fermentation process of residual waters and of live-stock farm wastes makes up the object of important concerns developed by the specialists in biotechnology, bioenergetics and so on in view of developing new techniques of treating and harnessing such biodegradable organic wastes.

An energy analysis is made on a live-stock farm of 30,000 pigs capacity endowed with a module facility of 1500 m³/day. The analysis is based on the energy audits developed on the „biogas generation — biogas utilisation facility" assembly of the live-stock complex and it outlines the biogas-energy production and the annual energy savings.

Choice criteria for the optimal biogas improved harnessing solutions in order to ensure an advanced energy autonomy degree are outlined.

The paper presents the technical and operational characteristics of a synchronous biogas operated power unit, for the simultaneous generation of electricity and heat, after a recovery cycle, which becomes during winter-time an installation for covering the electricity demand of the National Power Grid in case of outages and operating in continuous regime during the summer in which the produced electricity can be absorbed totally by the power grid.

În contextul căutării și descoperirii unor noi modalități de obținere a energiei, eficiența tehnologiilor de producere și de valorificare a potențialului energetic al biogazului constituie o problemă de cea mai mare importanță.

Diversele procedee de producere și utilizare a biogazului au nevoie ele însele de energie pentru a o produce. În acest sens, se poate vorbi de o tehnologie eficientă numai cînd pe unitatea de energie obținută și valorificată, cantitatea de energie consumată este minimă.

Apare deci ca necesară o analiză tehnico-economică ce trebuie să stabilească pe lîngă soluțiile tehnice corespunzătoare și eficiența economică, atît a proceselor de bază ale prelucrării biomasei în scopul obținerii de biogaz, cît și a procedeelor de valorificare a acestui biocombustibil, în calitate de energie primară neconvențională.

O astfel de analiză tehnico-economică are la bază un bilanț energetic general pe ansamblul instalației de producere a biogazului-instalație de valorificare a biogazului-fermă zootehnică bilanț care trebuie să pună în evidență atît întreaga capacitate de producție de energie, cît și posibilitatea optimă de utilizare a acesteia. (Prin posibilitatea optimă de utilizare înțelegem acea variantă care să conducă la un maxim de energie primară economisită.)

Prezentăm în continuare un astfel de bilanț energetic pentru o fermă zootehnică de 30 000 capete porcine, echipată cu o instalație de producere biogaz de capacitate 1 500 m³/zi.

În tabelul 1 se prezintă necesarul de energie termică și electrică al fermei zootehnice.

Necesarul anual de energie electrică de 2,152 MWh este distribuit pe categorii de consumatori astfel:

— iluminat + forță	831 MWh
— încălzire tehnologică	743 MWh
— utilități (alimentare cu apă, centrală termică, evacuare dejecții)	578 MWh

Producerea biogazului, în instalația de tip ICPEAR de capacitate 1 500 m³/zi se face cu un consum minim de energie (tabelul 2).

*Dr. ing. Corneliu Craiu, ing. Cristian Ionescu, ing. Nicolae Morărescu, ing. Speranța Rasan — Institutul de Cercetări și Proiectări pentru Epurarea Apelor Reziduale, București.

* m³ în condiții normale de temperatură și presiune

Tabelul 1

Necesarul de energie al unei ferme zootehnice de creştere şi îngrăşare a 30 000 capete porcine

LUNA	Energia termică pentru încălzire		Energia electrică	
	G cal	G J	MWh	GJ
Ianuarie	431	1804	269	968
Februarie	273	1142	269	968
Martie	158	661	255	918
Aprilie	43	180	113	407
Mai	—	—	89	321
Iunie	—	—	106	382
Iulie	—	—	131	472
August	—	—	106	382
Septembrie	—	—	119	428
Octombrie	58	243	157	565
Noiembrie	173	724	269	968
Decembrie	302	1264	269	968
TOTAL	1438	6018	2153	7747

Consumul specific de energie al instalaţiei de producere biogaz este de 2340 kJ/m³ biogaz produs. Rezultă o cantitate de energie disponibilă de 11 314 kJ, pe care ferma zootehnică trebuie să o utilizeze cît mai eficient în scopul reducerii consumurilor de combustibili şi energie.

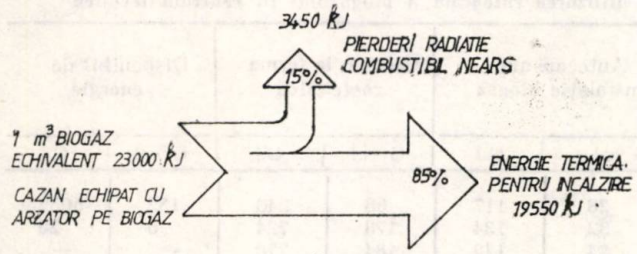


Fig. 1. Bilanţ de energie pentru utilizarea a 1 m³ biogaz (în condiţii normale de temperatură şi presiune) în centrală termică echipată cu arzătoare adaptate pe biogaz.

După cum se observă din tabelul 1 necesarul de energie termică al fermei este mai mare în perioada de iarnă. Pentru acoperirea necesarului de căldură în această perioadă s-au luat în considerare două variante de utilizare integrală a biogazului: în prima variantă acesta este utilizat într-o centrală termică pentru producerea de căldură (fig. 1), iar în cea de a doua este convertit în energie electrică în grupuri energetice (GESB) cu recuperarea căldurii (fig. 2).

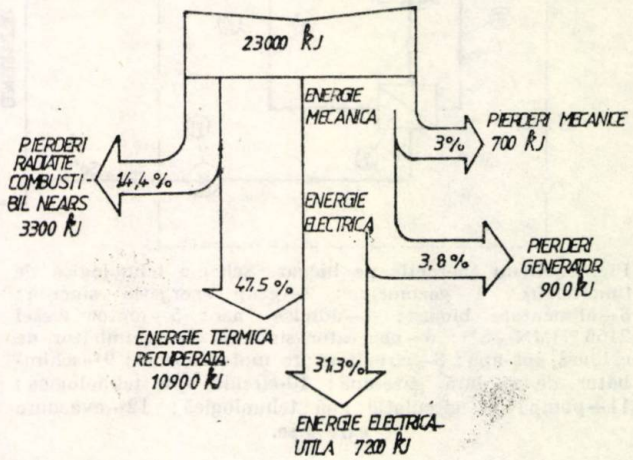


Fig. 2. Bilanţul unei unităţi energetice în varianta utilizării biogazului în grupuri energetice sincrone.

Grupul energetic sincron funcţionînd cu biogaz este proiectat în vederea funcţionării independente de sistemul energetic, pentru acoperirea consumurilor vitale ale unei ferme zootehnice, în regim de grup de intervenţie. Aceasta nu exclude funcţionarea în regim de generator, situaţie în care energia electrică produsă poate fi absorbită în totalitate de sistemul energetic. Schema tehnologică de funcţionare a grupului energetic sincron este prezentată în figura 3.

Tabelul 2

Bilanţul energetic al instalaţiei de producere biogaz tip ICPEAR, de capacitate 1 500 m³/zi (în condiţii normale de temperatură şi presiune)

LUNA	Producţie biogaz		Autoconsum de energie					Energie disponibilă
			Energie termică		Energie electrică		Total	
	m³	GJ	Gcal	GJ	kWh	GJ	GJ	GJ
Ianuarie	46500	1069,5	34	142	660	2,4	144,4	925,1
Februarie	42000	966,5	32	134	630	2,2	136,2	830,3
Martie	46500	1069,5	30	125	630	2,2	127,2	942,3
Aprilie	45000	1035	24	100	600	2,1	102,1	932,9
Mai	46500	1069,5	20	34	600	2,1	86,1	938,4
Iunie	45000	1035	16	67	580	2	69	966
Iulie	46500	1069,5	14	58	580	2	60	1009,5
August	46500	1069,5	14	58	580	2	60	1009,5
Septembrie	45000	1035	22	92	600	2,1	91,1	940,9
Octombrie	46500	1069,5	23	117	630	2,2	119,2	950,3
Noiembrie	45000	1035	32	134	650	2,3	136,3	898,7
Decembrie	46500	1069,5	34	142	660	2,4	144,4	925,1
TOTAL	547 500	12 593	300	1253	7400	26	1279	11314

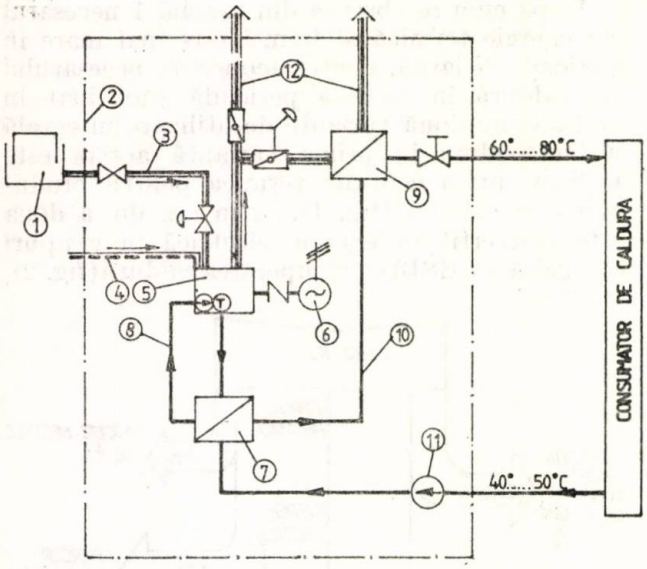


Fig. 3. Grup energetic pe biogaz. Schema tehnologică de funcționare: 1—gazometru; 2—grup energetic sincron; 3—alimentare biogaz; 4—admisie aer; 5—motor diesel 2156 HMN—SB; 6—generator sincron; 7—schimbător de căldură apă-apă; 8—circuit răcire motor termic; 9—schimbător de căldură gaze-apă; 10-circuit apă tehnologică; 11—pompă de circulație apă tehnologică; 12—evacuare gaze arse.

Tabelele 3 și 4 prezintă bilanțurile de producere și consum de energie termică în situația utilizării integrale a biogazului în centrala termică și respectiv în grupuri energetice sincrone.

Atît din cele două bilanțuri prezentate mai sus, cît și din figura 4 se constată că în perioada decembrie-februarie biogazul nu poate acoperi necesarul de căldură al fermei, vîrful de consum situîndu-se în luna ianuarie (lună cu maximum de deficit). De asemenea, este pus în evidență faptul că utilizarea biogazului exclusiv în centrala termică asigură o economie de combustibil, la nivelul complexului, mai mare de circa două ori decît în varianta utilizării lui integral în GESB.

Soluția de valorificare a biogazului în perioada de iarnă numai în centrala termică este determinată de faptul că în această perioadă unitatea zootehnică este cu prioritate consumatoare de căldură.

În perioada de vară, necesarul de căldură al complexului fiind practic nul, este avantajoasă utilizarea biogazului în grupuri energetice sincrone. Prin producerea de energie electrică în GESB se realizează acoperirea autocon-

Tabelul 3

Bilanțul producției și consumului de energie termică pentru utilizarea integrală a biogazului în centrala termică

LUNA	Producție biogaz	Producție energie termică		Autoconsum instalație biogaz		Consum la ferma zootehnică		Disponibil de energie	
	m³	G cal	GJ	G cal	GJ	G cal	GJ	G cal	GJ
Octombrie	46500	218	912	28	117	58	243	132	5052
Noiembrie	45000	210	880	32	134	173	724	5	22
Decembrie	46500	218	912	34	142	184	770	—	—
Ianuarie	46500	218	912	34	142	184	770	—	—
Februarie	42000	196	820	32	134	164	686	—	—
Martie	46500	218	912	30	125	158	661	30	126
Aprilie	45000	210	880	24	100	43	180	143	600
Total	318000	1488	6228	214	894	964	4034	310	1300

Tabelul 4

Bilanțul producției și consumului de energie termică pentru utilizare integrală a biogazului în grupuri energetice sincrone

LUNA	Producție biogaz	Producție energie termică		Autoconsum instalație biogaz		Consum la ferma zootehnică		Disponibil de energie	
	m³	G cal	GJ	G cal	GJ	G cal	GJ	G cal	GJ
Octombrie	46500	112	469	28	117	58	243	26	109
Noiembrie	45000	108	452	32	134	76	318	—	—
Decembrie	46500	112	469	34	142	78	727	—	—
Ianuarie	46500	112	469	34	142	78	327	—	—
Februarie	42000	101	422	32	134	69	288	—	—
Martie	46500	112	469	30	125	82	344	—	—
Aprilie	45000	108	452	24	100	43	180	41	172
Total	318000	765	3202	214	849	484	2027	67	281

sumului electric și termic al instalației de biogaz, precum și o economie considerabilă de energie electrică la nivelul fermei zootehnice, ceea ce se reflectă, la nivelul economiei naționale, în disponibilizarea de energie primară. Astfel apare ca soluție optimă utilizarea combinată a biogazului în centrale termice și grupuri energetice (tabelele 5, 6) repartizat pe perioade funcție de necesarul energetic al fermei zootehnice, rezultînd un minim de deficit termic și electric. O fermă zootehnică poate avea în acest fel o autonomie de 67% la energie termică și de 30% la energie electrică (fig. 4 și 5).

În perioada de vară o cantitate de energie termică de circa 2 233 GJ rămîne la dispoziția unității pentru diverși consumatori interni (cantină, grupuri sanitare, spălătorii, puncte de sacrificare etc.) sau pentru terți.

Concluzii

1. Analiza energetică pe bază de bilanț efectuată justifică interesul manifestat pentru valorificarea biogazului rezultat în stațiile de epurare a apelor uzate ale unor ferme zootehnice cu atît mai mult cu cît scopul acestor procese nu este producerea biogazului în sine, ci protecția mediului ambiant.

2. Utilizarea biogazului în anotimpul friguros cu precădere în centrala termică, iar vara în grupuri energetice pentru producerea combinată de energie electrică și căldură, asigură fermei zootehnice un grad important de autonomie energetică.

3. În scopul măririi gradului de autonomie energetică este oportună introducerea consumurilor specifice normate de energie la ferme-

Tabelul 5

Bilanțul producției consumului de energie termică pentru utilizarea biogazului la producerea combinată a energiei electrice și a căldurii

LUNA	Energia termică produsă în		Autoconsum biogaz	Energie termică disponibilă	Necesar energie la fermă	Consum energie la fermă	Excedent energie termică	Deficit energie termică
	Centrala termică	GESB						
Ianuarie	912	—	142	770	1004	770	—	1034
Februarie	820	—	134	686	1142	686	—	456
Martie	661	125	125	661	661	661	—	—
Aprilie	—	452	100	353	180	180	172	—
Mai	—	469	84	385	—	—	385	—
Iunie	—	452	67	385	—	—	385	—
Iulie	—	469	58	411	—	—	411	—
August	—	469	58	411	—	—	411	—
Septembrie	—	452	92	360	—	—	360	—
Octombrie	—	469	117	352	243	243	109	—
Noiembrie	833	25	134	724	724	724	—	—
Decembrie	912	—	142	1770	1264	770	—	494
Total	4138	3382	1253	6267	6018	4034	2233	1984

Tabelul 6

Bilanțul producției și consumului de energie electrică pentru utilizarea biogazului la producerea combinată a energiei electrice și a căldurii

LUNA	Energie electrică produsă	Autoconsum energie electrică	Energie electrică disponibilă	Necesar energie complexă	Consum energie complexă	Excedent energie electrică	Deficit energie electrică
Ianuarie	—	2,4	—	968	—	—	968
Februarie	—	2,2	—	968	—	—	968
Martie	90	2,2	87,2	918	87,2	—	830,8
Aprilie	324	2,1	321,9	407	321,9	—	85,1
Mai	334,8	2,1	332,7	321	332,7	11,7	—
Iunie	324	2	322	382	322	—	60
Iulie	334,8	2	332,8	472	332,8	—	139,2
August	334,8	2	332,8	382	332,8	—	49,2
Septembrie	324	2,1	321,9	428	321,9	—	106,1
Octombrie	334,8	2,2	332,6	565	332,6	—	232,4
Noiembrie	18	2,3	15,7	968	15,7	—	952,3
Decembrie	—	2,4	—	968	—	—	968
Total	2419,2	26	2399,6	7747	2399,6	11,7	5359,1

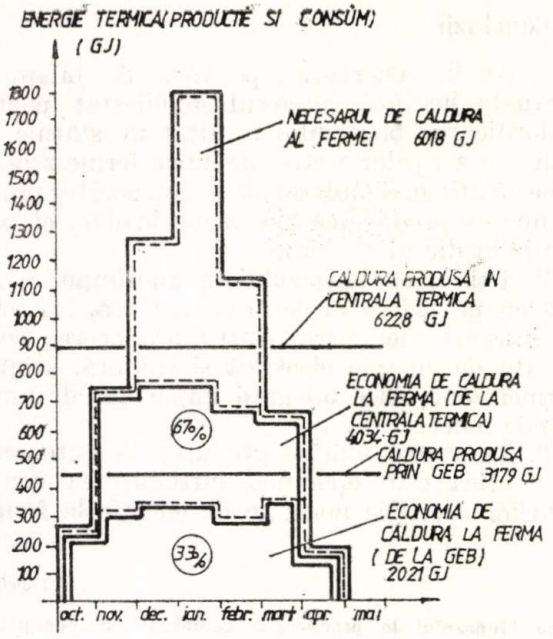


Fig. 4. Diagrama acoperirii necesarului de energie termică al fermei prin utilizarea biogazului în centrala termică sau în GEB în perioada de iarnă.

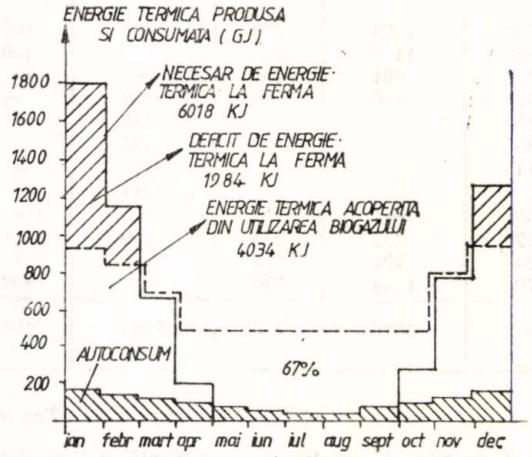


Fig. 5. Bilanțul anual al producției și consumului de energie termică.

concomitent cu adoptarea unor tehnologii de epurare adecvate (cu consumuri proprii minime de tip ICPEAR).

4. Soluția energetică adoptată rezolvă problema stocării biogazului în perioada de vară (cînd nu există un consum important de energie termică) nemaifiind necesare alte mijloace de înmagazinare în afara gazometrului.

5. Grupurile energetice sincrone GESB funcționînd pe biogaz cu producere simultană de energie și căldură după un ciclu de recuperare, iarna constitue instalații de intervenție în situația întreruperii alimentării cu energie electrică, iar vara funcționează în regim continuu de bază.

A fost realizat prototipul unui grup energetic sincron pe biogaz GESB — 70, care revine la un preț mult inferior grupurilor asincrone (cu circa 40 % mai ieftin), prezentînd și avantajul posibilității de funcționare independentă la întreruperea alimentării din Sistemul Energetic Național.

Caracteristicile tehnice ale grupului energetic sincron pe biogaz GESB — 70 (fig. 7), sînt următoarele :

— putere electrică la bornele generatorului max/nom. 50/45 kW
— turația de funcționare 1500 rot/min
— putere termică maximă 110 kW

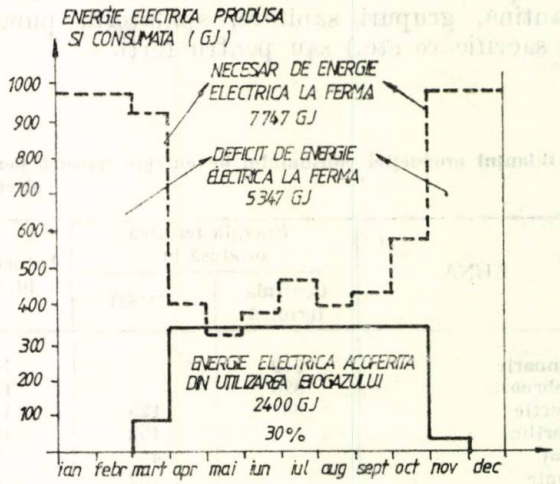


Fig. 6. Bilanțul anual al producției și consumului de energie termică.

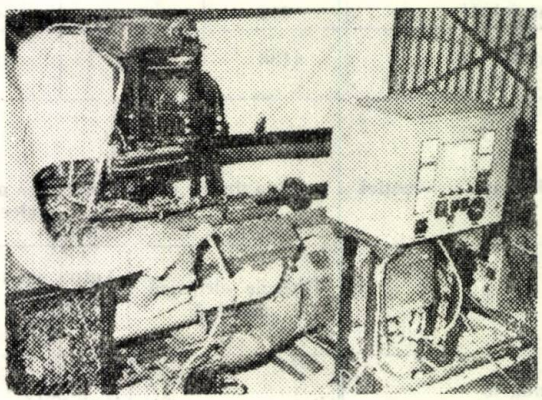


Fig. 7

— randament global 78%
— consum orar de biogaz max/34/28 m³/h
— masă unitară totală 2250 kg/buc.

Bibliografie

[1] Feinhold E. *Erfahrungen mit Biogaz im praktischen Betrieb.* ETLB — Darmstad Kranichstein, 1981.

(Primit la 6 iulie 1989, acceptat la 14 iulie 1989)

NOUTĂȚI

Din energetica mondială

CONSUMURILE DE ENERGIE LA MĂCINAREA CIMENTULUI

Revista ,,Zem-Kalk — Gips'' 1988, 41, nr. 2 publică, sub semnătura lui Ellerbrock și Schiller, articolul cu titlul ,,*Consumurile de energie la măcinarea cimentului*'', în cadrul căruia sînt analizate consumurile energetice în instalațiile de măcinare la producerea cimentului. În medie acestea sînt de ordinul a 40 kWh/t, ceea ce constituie 40% din totalul energiei consumate la producerea cimentului. În scopul obținerii unui ciment de înaltă calitate se utilizează cu precădere mori cu bile. Consumurile de energie la măcinare pot fi limitate pe seama optimizării dimensiunilor morii, a îmbunătățirii constructive și a eficienței funcționării separatorului de tip șurub, a creșterii măcinabilității componentelor clincherului.

Coeficientul volumetric de umplere a morii are valori cuprinse între 19 și 34%, valoarea indicelui de măcinare este de 2200 cm^2/g, consumul minim de energie — 10 kWh/t, densitatea cimentului — între 4,3 și 4,6 t/m^3.

Prin alegerea tipului constructiv al separatorului se poate mări randamentul separării și reduce ponderea părții nemăcinate în ciment; se poate, de asemenea, micșora puterea morii și consumul de energie. În articol este prezentată o nouă concepție de măcinare a cimentului, cu utilizarea unor mori cu valțuri, care permit reducerea consumurilor la măcinare cu 20—40% în comparație cu cele de la morile cu bile. Presiunea asupra stratului de ciment în acestea atinge valoarea de 50 MPa la viteze mari de sarcini.

În articol sînt redate rezultatele cercetării microstructurii componentelor din clincherul de ciment cu ajutorul microscopului electronic, precum și consumurile energetice, funcție de măcinabilitatea și dimensiunile particulelor.

(După: Referativnîi jurnal, 22, Energhetika, vol. general, nr. 8, 1988, poz 8S112)

STRATEGII DE APROVIZIONARE ENERGETICĂ

Plavian Christopher publică în revista ,,State World 1988: Worldwatch Inst. Rept Progr. toward Sustain. Soc.'' (New York, London, 1988, 22—40) un amplu articol care se referă la alegerea celor mai eficiente strategii de aprovizionare cu energie, în lume. El arată că în perspectiva apropiată economia de energie este cea mai adecvată strategie în asigurarea cu energie, atît din punct de vedere economic, cît și ecologic; pe termen lung, strategia optimă constă în însușirea și valorificarea surselor regenerabile de energie.

Extragem unele date din acest articol.

Emanațiile de bioxid de carbon în atmosfera terestră au atins 5,4 miliarde tone/an; la o creștere de numai 1% pe an a eficienței energetice a economiei mondiale*, concentrația de bioxid de carbon se va mări de la 348 ppm** în 1987 la 600 ppm în anul 2075, fapt care ar conduce la o catastrofă ecologică. Menținerea creșterii temperaturii globale a atmosferei pînă la 1°C, spre anul 2075, este posibilă numai în cazul în care eficiența energetică va crește cu minimum 2% pe an.

După unele evaluări, economia de energie poate asigura 25% din creșterea consumului de resurse energetice pînă în anul 2000.

Cheltuielile de producție totale pentru extracția țițeiului în zona Golfului Persic se mențin la un nivel de 14 doll/tonă, adică de 5—10 ori mai reduse decît indicatorul corespunzător în zăcămintele din Alaska sau Marea Nordului. Prețurile la benzină, motorină și gaz în țările lumii, în 1987, au fost diferite (tabelul 1).

Sursa de finanțare a măsurilor de economisire a energiei poate fi instituirea unor impozite la unele tipuri de purtători de energie. De exemplu, în S.U.A., introducerea unui impozit la cărbune și țiței de 1,0 și respectiv 0,8 doll/Mcal (circa 19 cenți/MJ) va conduce la creșterea costului energiei electrice cu 10%, iar a benzinei cu 2,9 cenți/litru și va pune totodată la dispoziția guvernului federal mijloace financiare de ordinul a 53 miliarde dolari. Standardele introduse în 1986, privind randamentele aparatelor casnice, vor permite economisirea, în anul 2000, a unei cantități de energie electrică și gaze naturale reprezentînd suma de 28 miliarde dolari și micșorarea emanațiilor de CO_2 cu 342 milioane tone. În perioada 1980—1987 s-au dat, în S.U.A., avize de construire a unor instalații de producere combinată a energiei electrice și căldurii (CET) și de valorificare a surselor regenerabile de energie, cu o putere totală de 63,5 GW. La sfîrșitul anului 1987, puterea în aceste tipuri de surse a atins 20 GW.

Tabelul 1

în doll/10 l

Țara	Benzină	Motorină	Gaz
Italia	14	5,8	4,1
Danemarca	13,5	8,6	6,9
Franța	11,1	7,2	—
Brazilia	11,1	7,2	4,0
Japonia	10,9	6,8	4,1
Marea Britanie	8,5	6,7	—
India	8,2	3,8	2,5
R.F.G.	7,9	6,3	—
S.U.A.	3,1	3,3	3,1
Mexic	2,7	2,3	1,1

În S.U.A. activează mai mult de 100 firme care se ocupă de economisirea energiei electrice în clădiri. Intreprinderile furnizoare de energie electrică au cheltuit pentru realizarea măsurilor de economisire a energiei electrice, numai în 1985, suma de 582 mil. dolari, fapt care a permis unui număr de numai șase mari firme să evite construirea de noi centrale electrice cu o putere de 7240 MW.

În ceea ce privește finanțarea de către guverne a cercetărilor științifice în domeniul energeticii, situația în diverse țări, în mil. doll/an, pentru anul 1986 și 1980 (în prețuri constante nivel 1986) este următoarea:

Țara	1986	1980
Japonia	2311	1987
S.U.A.	2261	5229
Italia	761	398
R.F.G.	566	1050
Marea Britanie	378	475
Canada	336	282
Suedia	79	128

În cadrul acestor cheltuieli, ponderea medie din total pentru proiectele vizînd economisirea energiei a fost de 8,7%, în timp ce pentru cele de dezvoltare a energeticii nucleare — de 63,1%.

(După: Referativnîi jurnal, 22, Energhetika, nr 10, 1988, poz. 10T3)

* Autorul are probabil în vedere scăderea consumului specific de energie pe unitatea de venit național (N.R.).

** ppm = părți per milion

СОДЕРЖАНИЕ

КРИСТИАН ЦЫНЦЭРЯНУ, ГЕОРГЕ ВОЙКУ: Оценка энергетических качественных показателей группы ветрогенераторов 337—342

ШАУРИЧИУ ТУДОР, СИМИОН КОРНЕЛ ПОП: Ветроэлектростанция в зоне излучины Карпат 342—348

АНТОНИУ АНГЕЛ: Ветроэлектрическая установка 300 кВт, предназначенная для внедрения в Национальную Энергетическую Систему 349—354

КРИСТИАН РЭДУКАНУ, КОНСТАНТИН ПОПЕСКУ: Гибридные гелиотермоэлектростанции. Энергетические варианты 354—357

СТОЯН ПЕТРЕСКУ, ТЕОДОР БРУСАЛИС, РОКСАНА ЙОРДАКЕ, МОНИКА КОСТЯ, ВАЛЕРИА ПЕТРЕСКУ, ВИКТОР ВЭРЗАРУ, КОНСТАНТИН МИХЭИЛЕСКУ: Применение концентрированного солнечного излучения с тепловой заготовкой в расплавленных солях 358—363

ИОАН ТУРКУ, КОНСТАНТИН ПОПЕСКУ, ЕЛЕНА МИТРАШКА: Специфические аспекты, касающиеся внедрения фотовольтных солнечно-электрических станций (солнечных электростанции) в энергетическую систему 364—371

АНКА ЗАХАРИА: Фотовольтные системы нагнетания 372—375

КОРНЕЛИУ КРАЙУ, КРИСТИАН ИОНЕСКУ, НИКОЛАЕ МОРЭРЕСКУ, СПЕРАНЦА РАСАН: Применение биогаза для комбинированного производства электрической и тепловой энергии 376—381

НОВОСТИ

ИЗ МИРОВОЙ ЭНЕРГЕТИКИ 357, 371, 381

INHALT

CRISTIAN ŢÎNŢĂREANU, GHEORGHE VOICU: Einschätzung der energetischen Leistungen einer Windkraftanlage 337—342

MAURICIU TUDOR, SIMION CORNEL POP: Windkraftanlagen im Mittelgebirge der Karpathen 342—348

ANTONIU ANGHEL: 300-kW-Windkraftanlage zum Anschluss an das Energieverbundsystem 349—354

CRISTIAN RĂDUCANU, CONSTANTIN POPESCU: Hybride Wind-Wärmekraftwerke. Energetische Varianten 354—357

STOIAN PETRESCU, TEODOR BRUSALIS, ROXANA IORDACHE, MONICA COSTEA, VALERIA PETRESCU, VICTOR VĂRZARU, CONSTANTIN MIHĂILESCU: Aufnehmer konzentrierter Sonneinstrahlung mit Wärmespeicherung in Schmelzungen 358—363

IOAN TURCU, CONSTANTIN POPESCU, ELENA MITRAŞCA: Spezifische Aspekte der Implementation fotovoltaischer Sonnenkraftwerke in das Energieverbundsystem 364—371

ANCA ZAHARIA: Fotovoltaische Pumpsysteme 372—375

CORNELIU CRAIU, CRISTIAN IONESCU, NICOLAE MORĂRESCU, SPERANŢA RASAN: Verwendung von Biogas zur Erzeugung elektrischer Energie und Wärme 376—381

NEUIGKEITEN

DIE ENERGIEWIRTSCHAFT WELTWEIT 357, 371, 381

SOMMAIRE

CRISTIAN ŢÎNŢĂREANU, GHEORGHE VOICU: Estimation des performances énergétiques d'un groupe aérogénérateur 337—342

MAURICIU TUDOR, SIMION CORNEL POP: Centrales aéroélectriques dans la zone des Carpathes de Courbure 342—348

ANTONIU ANGHEL: Une installation aéroélectrique à 300 kW à implanter dans le réseau d'énergie 349—354

CRISTIAN RĂDUCANU, CONSTANTIN POPESCU: Les centrales aérothermiques hybrides. Variantes énergétiques 354—357

STOIAN PETRESCU, TEODOR BRUSALIS, ROXANA IORDACHE, MONICA COSTEA, VALERIA PETRESCU, VICTOR VĂRZARU, CONSTANTIN MIHĂILESCU: Un récepteur du rayonnement solaire concentré à stockage thermique en metaux fondus 358—363

IOAN TURCU, CONSTANTIN POPESCU, ELENA MITRAŞCA : Aspects caractéristiques de l'implantation des centrales solaires photovoltaïques dans le réseau d'énergie 364—371

ANCA ZAHARIA : Systèmes photovoltaïques de pompage 372—375

CORNELIU CRAIU, CRISTIAN IONESCU, NICOLAE MORĂRESCU, SPERANŢA RASAN : Utilisation du biogaz pour la production combinée d'électricité et de chaleur 376—381

NOUVEAUTÉS

DE L'ÉNERGÉTIQUE MONDIALE 357, 371, 381

CONTENTS

CRISTIAN ŢÎNŢĂREANU, GHEORGHE VOICU : Assessment of the Energy Performances of a Wind Unit 337—342

MAURICIU TUDOR, SIMION CORNEL POP : Wind Farms in the Curvature Carpathians Zone 342—348

ANTONIU ANGHEL : 300 kW Wind Unit Projected for Connection to the National Power Grid 349—354

CRISTIAN RADUCANU, CONSTANTIN POPESCU : Hybrid Solar Power Plants. Energy Coupling Alternatives 354—357

STOIAN PETRESCU, TEODOR BRUSALIS, ROXANA IORDACHE, MONICA COSTEA, VALERIA PETRESCU, VICTOR VARZARU, CONSTANTIN MIHĂILESCU : Solar Energy Receiver With Storage in Melted Metals 358—363

IOAN TURCU, CONSTANTIN POPESCU, ELENA MITRAŞCA : Specific Issues on Utility-Scale Photovoltaic Power Plants 364—371

ANCA ZAHARIA : Photovoltaic Pumping Systems 372—375

CORNELIU CRAIU, CRISTIAN IONESCU, NICOLAE MORĂRESCU, SPERANŢA RASAN : Biogas Utilisation for Combined Heat and Electricity Generation 376—381

NEWS

ENERGY WORLDWIDE 357, 371, 381

COLEGIUL DE REDACȚIE

Președinte, redactor responsabil : **dr. ing. Eugeniu Pavel**

Redactori responsabili adjuncți : **dr. ing. Mihai G. M. Pop, dr. ing. Gheorghe Bălan, ing. Radu Opincaru**

Secretar de redacție : **dr. ing. Teodor Popa**

Resort economic : **ec. Pompiliu Silvășanu**

Orientări în energetică : **dr. ing. Mario Duma**

Energetica în unități economice : **ing. Ion Măiereanu, ing. Alexandru Florescu**

Dezvoltarea sistemelor energetice : **dr. ing. Nicolae Armeneoiu, dr. ing. George Manolescu**

Conducerea și automatica SE : **dr. ing. Victor Romert, dr. ing. Jean Constantinescu**

Centrale termoelectrice : **conf. dr. ing. Costin Moțoiu, ing. Romeo Zbarcea**

Centrale hidroelectrice : **dr. ing. Gheorghe Lucea**

Centrale nuclearoelectrice : **ing. Adrian Georgescu, prof. dr. ing. Nicolae Dănilă, ing. Mircea Tarța**

Rețele electrice : **ing. Dinu Voinea, ing. Nicolae Georgian**

Alimentare cu căldură : **ing. Nicolae Nieuleseu**

Surse și tehnologii noi : **ing. Constantin Popescu**

Tehnologii chimice în energetică. Poluare : **dr. chim. Maria Maftei**

Organizarea producției și a muncii : **ing. Miron Popescu**

Istoria electrificării : **ing. Paul Cartianu**

Noutăți : **ing. Mihai Nistor, ing. Romulus Sfichi**

Terminologia energetică : **dr. ing. Iosif Cserveny**

Centre universitare și industriale :
București : **conf. dr. ing. Alexandru Selischi**
Iași : **prof. dr. ing. Alexandru Poeată**
Timișoara : **prof. dr. ing. Viorel Negru**
Cluj : **conf. dr. Silviu Darie**

Acest număr a fost realizat cu concursul **ing. Ioan Turcu**, secretarul grupei de specialitate „Surse și tehnologii noi"

Revista ENERGETICA este editată și administrată de Institutul de Cercetări și Modernizări Energetice prin Oficiul de Informare Documentară pentru Energetică.
Vasile Pleșca — șef OIDE, **Ana Maria Chivu** — redactor

Revista ENERGETICA — publicație lunară, reflectă preocupările spirituale și realizările materiale în domeniul energeticii. Funcționează în conformitate cu ROF aprobat cu Ordinul nr. 97/1987 și publicat în nr. 4/87.

Instituțiile pot achita abonamentele în contul de virament nr. 30.11.8.01.01 — BNR.S.R. fil. sector 3 sau direct la redacție. Costul unui abonament : 144 lei anual ; costul unei exemplar : 12 lei.

Redacția și administrația : București 79619, Bd. Energeticienilor nr. 8, sect. 3
Telefon : 20.67.30, 21.46.30

Elaboratorii de lucrări propuse spre publicare sînt rugați să consulte „*Indrumările pentru întocmirea și prezentarea lucrărilor propuse a fi publicate în revista Energetica*" și „*Ghidul pentru avizarea lucrărilor propuse a fi publicate în revista Energetica*" apărute în nr. 12/1986, precum și „*Planul tematic al revistei Energetica*" apărut în nr. 5/1987.

41 401

ANNOUNCEMENTS FOR READERS ABROAD

- **The review „Energetica" can send on request from publications abroad reports translated in one of the worldwide spoken languages**
- **The review „Energetica" proposes a publication exchange with similar reviews and in relating fields**
- **The review „Energetica" provides and publishes or introduces books on energy received at the editorial office. Reviews and presentations of books sent on this purpose to the editorial office can be published as well**
- **The review „Energetica" publishes on request from authors abroad reports of other materials : technical and scientific news, inventions-innovations, information about technical and scientific symposia, etc. written in one of the worldwide spoken languages**
- **Readers from abroad can subscribe through : ROMPRESFILATELIA — sectorul import-export, P.O. Box 12—201, telex 10376 prsfir, Calea Griviței nr. 64—66, București — România.**

Tipărit la :
Întreprinderea Poligrafică „Informația"
str. Brezoianu nr. 23—25, c. 1482

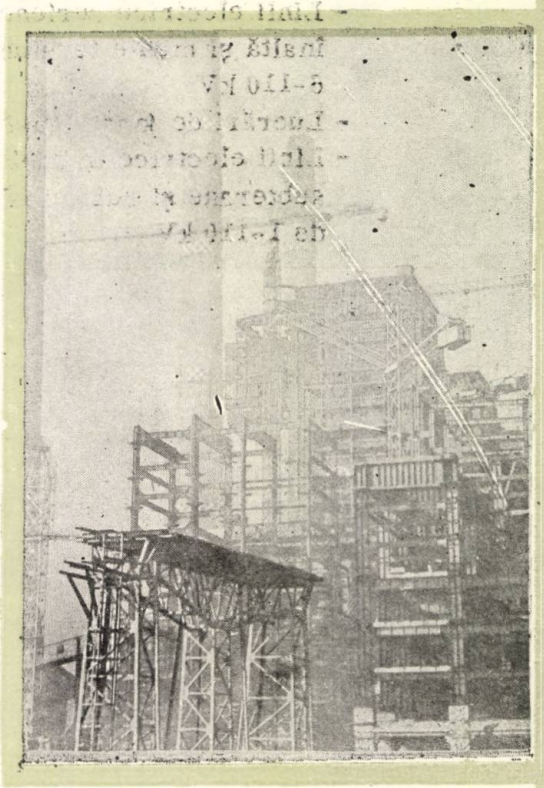
TRUSTUL energoconstrucţia

T.A.G. ENERGOCONSTRUCTIA, dispunînd de o dotare tehnică modernă şi de un important efectiv de muncitori de înaltă calificare, tehnicieni şi ingineri, realizează :

LUCRARI DE CONSTRUCTII SI DE INSTALATII aferente termocentralelor electrice şi de termoficare de mare şi foarte mare putere funcţionînd pe cărbune, gaze, păcură, şisturi etc.

LUCRARI DE TEHNICITATE DEOSEBITA CA :

. magistrale şi reţele de termoficare pentru alimentarea marilor centre industriale şi urbane;
turnuri de răcire de mare capacitate cu tiraj natural sau forţat (Q = 42.000 mc/h) ;
coşuri de fum de mare înălţime (H = 280 m) ;
fundaţii speciale pentru maşini şi utilaje în termocentrale ;
staţii de transformare de 400, 200 şi 110 kV.



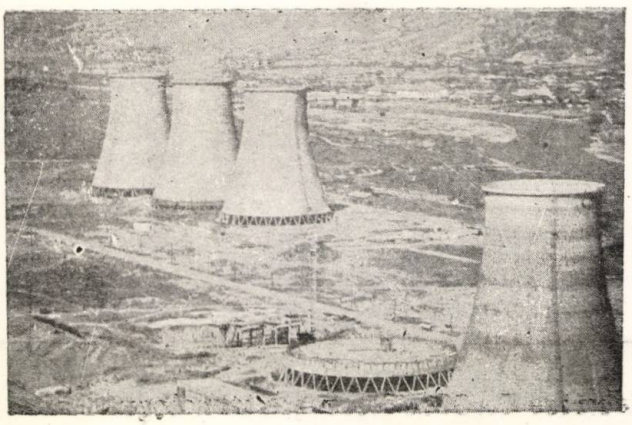
- Lucrări de construcţii şi instalaţii pentru REPARATII CAPITALE şi MODERNIZARI la toate obiectele aferente termocentralelor şi reţelelor de termoficare.

★ ★ ★

-LUCRARI HIDROTEHNICE AFERENTE TERMOCENTRALELOR :

- baraje de diferite tipuri, regularizări de rîuri ;
- prize decantoare şi staţii de pompe pentru debite importante ;
- canale şi conducte de apă caldă şi rece în soluţii constructive variate.

★ ★ ★ ★



T.A.G. "ENERGOCONSTRUCTIA' A REALIZAT IN SIRIA TURNURI DE RACIRE SI COSURI DE FUM LA RAFINARIA DIN BANYAS SI LA FABRICA DE CIMENT DIN ALEPPO.

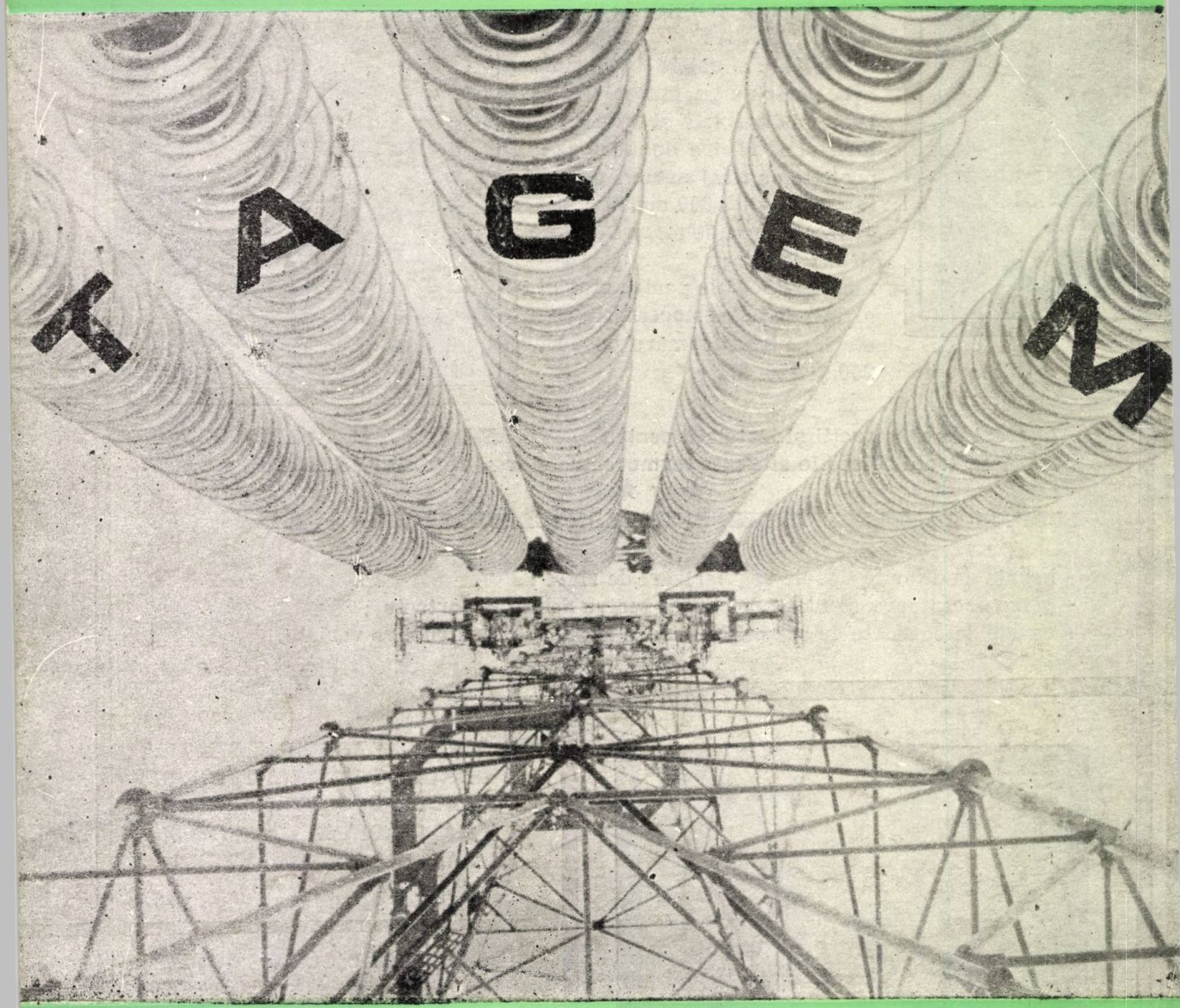
T. A. G. "ENERGOCONSTRUCTIA"
Calea Dorobanţilor nr. 103 - 105
Sector 1 - Bucureşti
Telefon 79.60.20 - telex 10179

T.A.G.-ELECTROMONTAJ

TRUSTUL ANTREPRIZA GENERALA "ELECTROMONTAJ"
Bucureşti, sect. 2, calea Moşilor nr. 158, telefon 16.63.30

TAGEM Electromontaj Bucureşti execută prin unităţile sale de construcţii :

- Linii electrice aeriene de foarte înaltă tensiune 220-750 kV
- Linii electrice aeriene de înaltă şi medie tensiune 6-110 kV
- Lucrări de joasă tensiune
- Linii electrice în cabluri subterane şi subfluviale de 1-110 kV
- Staţii electrice de transformare şi conexiuni 6-750 kV
- Posturi de transformare şi puncte de alimentare
- Microhidrocentrale şi centrale hidroelectrice de mică putere
- Demontări linii electrice aeriene 0,4-400 kV



La executarea instalaţiilor electrice TAGEM foloseşte tehnologii moderne de mare productivitate, care conduc la durate scurte de execuţie şi la un înalt nivel calitativ al lucrărilor.

E 2039

REFERALVA

R 1990 -01- 09

MW

9

Cuprins

ENERGETICA ÎN UNITĂȚI ECONOMICE

CORNEL MIHĂILĂ, ADRIAN GABRIEL GHIAUȘ: **O soluție de reducere a consumurilor energetice la serele de mare capacitate** 385—388

DUMITRU ROMAȘ: **Metode de economisire și utilizare rațională a energiei termice necesare în industria ușoară** 389—393

CONSTANTIN HAIDUC, MIOARA MIREA: **Cercetări privind determinarea necesarului de căldură la o întreprindere din București** 394—396

CENTRALE TERMOELECTRICE

MIRCEA RĂDULESCU, MARIAN VLĂDESCU: **Factorul de reținere al focarului la cazane cu funcționare pe lignit, în schema de insuflare directă cu mori ventilator cu ciocane** 397—401

ALIMENTARE CU CĂLDURĂ

RADU POPA, NICOLAE NICULESCU, ION UȚĂ: **Regimuri tranzitorii la interconectarea rețelelor de termoficare alimentate din surse diferite** 402—413

VASILE CALOIANU, NICOLAE ANTONESCU, GHEORGHE MIHALAȘCU: **Utilizarea optimă a unor recuperatoare de căldură din gaze de ardere** 413—419

SURSE ȘI TEHNOLOGII NOI

VALERIA PETRESCU: **Studii privind stocarea energiei termice în metale topite** 420—423

ISTORIA ELECTRIFICĂRII

PAUL CARTIANU: **La 100 de ani de la descoperirea undelor electromagnetice** 424—425

NOUTĂȚI

DIN ENERGETICA MONDIALĂ 396, 419, 423, 426

CĂRȚI NOI 427—428

energetica

VOLUMUL XXXVII
BUCUREȘTI
SEPTEMBRIE 1989

MINISTERUL ENERGIEI ELECTRICE

INSTITUTUL DE CERCETĂRI ŞI MODERNIZĂRI ENERGETICE

ICEMENERG

Bd. ENERGETICIENILOR 8 ● SECTORUL III
79619 BUCUREŞTI ● Telefon : 214630 ; 206730
Telex : ICEMENERG 10783 ● CONT: 30.11.8.01.01
BNRSR Filiala Sector III BUCUREŞTI

- INFORMAŢII D.C.S.
- PUBLICAŢII O.N.U.
- PUBLICAŢII O.E.C.D.
- ALTE SURSE DOCUMENTARE

BANCA DE DATE ENERGETICE INTERNAŢIONALE

COMANDĂ LA ICEMENERG

LABORATORUL DE PROGNOZA DEZVOLTĂRII ŞI SINTEZĂ

DATELE STOCATE ÎN BANCA SÎNT TRATATE AUTOMAT ÎN DIVERSE STRUCTURI UZUALE

- Structura energetică (resurse şi purtători)
- Structura economică (ramuri ale economiei naţionale).
- Unităţi de măsură internaţionale şi tolerate.
- Nomenclator 20 de ţări.
- Date începînd cu anul 1985.

PRODUCŢII - CONSUMURI SPECIFICE ÎN PRODUCŢIA DE ENERGIE ELECTRICĂ & TERMICĂ - PONDERI - INDICI DINAMICI

BENEFICIARI
- CERCETĂTORI
- PROIECTANŢI
- ALŢI SPECIALIŞTI INTERESAŢI

ENERGETICA

ORGAN AL MINISTERULUI ENERGIEI ELECTRICE ȘI AL CONSILIULUI NAȚIONAL AL INGINERILOR ȘI TEHNICIENILOR DIN REPUBLICA SOCIALISTĂ ROMÂNIA

APARE SUB ÎNDRUMAREA CONSILIULUI ȘTIINȚIFIC AL INSTITUTULUI CENTRAL DE CERCETĂRI ENERGETICE

Anul 37 Nr. 9 Septembrie 1989

Energetica în unități economice

O soluție de reducere a consumurilor energetice la serele de mare capacitate

Dr. ing. CORNEL MIHĂILĂ, ing. ADRIAN GABRIEL GHIAUȘ *

Descriptori: consumuri tehnologice, sere

Consumul de căldură necesar încălzirii serelor de mare capacitate are o pondere deosebită în prețul de cost al culturilor forțate.

Prezenta lucrare este o sinteză a rezultatelor unei cercetări în care obiectivul principal l-a constituit studierea unor metode și soluții privind reducerea consumurilor energetice la serele actuale (modul de 1 ha) aflate în exploatare, precum și la cele preconizate a se construi în viitor.

În final se analizează soluția de construcție de seră cu strat de aer — izolator termic — pentru care s-a stabilit grosimea optimă a stratului de aer, corespunzătoare unui flux de căldură minim transferat prin structură, precum și comportarea structurii optime alese, în regim dinamic, la modificarea „semnalului" termic.

The heat consumption for high capacity greenhouse heating has a great impact on the cost of forced cultures.

This paper synthesizes results of a study on methods and solutions to decrease energy consumption at greenhouses in operation at present (1 ha module) as well as at those to be implemented in the future.

In the end part of the paper, the construction solution chosen for the greenhouses with air layer acting as thermal isolator, whose optimal thickness, depending on the minimal heat flow transferred through the structure, has been established, as well as the behaviour of the chosen structure at the changing of the thermal "signal" (during the dynamic regime) are analysed.

Introducere

Consumul de căldură la serele de mare capacitate (module de 1 ha) are o pondere deosebită în prețul de cost al culturilor forțate. Creșterea, de-a lungul anilor, a suprafeței cultivate la complexele mari de sere alimentate cu căldură din CET-uri sau din centrale termice proprii (CT) și faptul că balanța energetică a țării se echilibrează și cu combustibil provenit din import, implică într-un mod cît mai strîns corelarea dintre necesarul și disponibilul de căldură.

Lucrarea prezentă este o sinteză a rezultatelor unei cercetări pe bază de contract [1] în care obiectivul principal l-a constituit studierea unor metode și soluții privind reducerea consumurilor energetice la serele actuale (modul de 1 ha) aflate în exploatare, precum și la cele preconizate în viitor.

* Conf. dr. ing. Cornel Mihăilă — Catedra de Termotehnica, Institutul de Construcții, București, ing. Adrian Gabriel Ghiauș — inginer proiectant la ISLGC, București.

1. Formularea problemei

Dezvoltarea serelor legumicole de mare capacitate pe plan mondial, în cadrul unui caracter industrial pronunțat, a însemnat alocarea unor investiții extrem de mari. Apariția alimentării centralizate cu căldură și a furnizării energiei termice din CET, a ridicat noi probleme legate în special de reglajul specific serelor, de conservarea și contorizarea căldurii și de reglarea automată a parametrilor din incintă. Deși o parte dintre aceste probleme au fost puse, și parțial rezolvate, și în țara noastră, asistăm în prezent la un decalaj accentuat între beneficiile realizate în complexele de sere și cheltuielile de exploatare legate în special de costul energiei termice consumate prin termoficare [1, 2].

Dintre construcțiile de sere analizate în lucrare :

— construcția de seră actuală, cu manta suplimentară exterioară tip folie PVC (sau polietilenă) ;

— construcţia de seră cu geamuri „izovit" sau „termopan";

— construcţia de seră cu strat de aer — izolator termic,

criteriile de comparaţie au condus la desprinderea soluţiei cu strat de aer — izolator termic drept cea mai avantajoasă din punct de vedere termotehnic.

În acest sens, o problemă de mare interes o reprezintă stabilirea grosimii optime a stratului de aer, corespunzătoare unui flux de căldură minim transferat prin structură, precum şi comportarea structurii optime alese, în regim dinamic, la modificarea „semnalului" termic.

2. Modelul fizic

Fenomenul de transfer de căldură în serele de tip universal intervine cu o pondere însemnată în regimul dinamic al serei, care poate fi considerată un „filtru"ce reacţionează la „semnalele" termice primite din exterior, provocînd apariţia unor procese complexe în interior. De asemenea, transferul de căldură este direct implicat şi în ecuaţia de bilanţ energetic.

Astfel, se cunosc ecuaţii de bilanţ la nivelul solului din seră, la nivelul anvelopei din sticlă sau la nivelul întregii construcţii (bilanţul „total").

Interdependenţa fenomenelor de transfer de căldură (conducţia prin acoperişul din sticlă şi prin sol; radiaţia solului către ambianţă; radiaţia conductelor încălzitoare spre exterior; radiaţia acoperişului spre exterior; convecţia aer — sticlă; infiltraţia de aer rece în seră; transferul global de căldură de la aerul din seră la aerul ambiant), precum şi dinamica lor pe un ciclu de vegetaţie, necesită un bilanţ energetic complex a cărui determinare practică este acum extrem de dificilă.

O ecuaţie de bilanţ de acest tip necesită cunoaşterea evoluţiei în timp a factorilor climatici şi a influenţei precipitaţiilor, care au un caracter aleator, periodicitatea parametrilor climatici fiind semnalată statistic şi aproximativ numai în intervalul unui ciclu anual.

Pentru un regim staţionar se poate scrie ecuaţia de bilanţ total (fig. 1):

$$\dot{Q}_{cons} = \dot{Q}_{pierd}, \qquad (1)$$

unde pierderile de căldură în ambianţă, $\dot{Q}_{pierd}$, sînt determinate de radiaţia termică, conducţie şi convecţie, fiind diminuate de aportul radiaţiei solare (fig. 2).

Relaţia (1) se poate scrie sub forma:

$$\dot{Q}_{cons} = \dot{Q}_{rad} + \dot{Q}_{cond} + \dot{Q}_{conv} - \dot{Q}_{rad,s}. \qquad (2)$$

Pentru sera modul de 1 ha, în condiţiile de calcul $t_i = 16°C$; $t_e = -15°C$; $w = 7$ m/s (zona

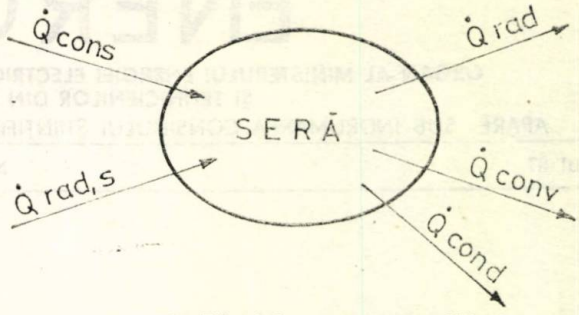


Fig. 1. Bilanţul energetic simplificat.

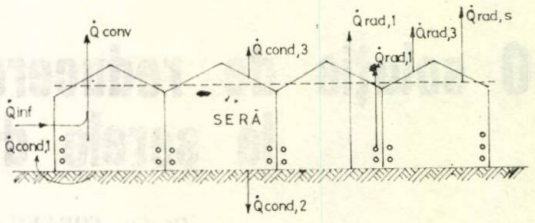


Fig. 2. Componentele bilanţului energetic simplificat.

eoliană II — Bucureşti), a rezultat repartiţia pierderilor de căldură din tabelul 1.

Tabelul 1

Repartiţia pierderilor de căldură la sera „modul" de 1 ha

Prin transmisie $\dot{Q}_T$ [MW]	Prin sol $\dot{Q}_s$ [MW]	Prin infiltraţie de aer rece $\dot{Q}_{inf}$ [MW]	TOTAL [MW]
2,78(97,5 %)	0,01377(0,4 %)	0,05817(2,1 %)	2,85(100 %)

Analiza acestui tabel demonstrează că pentru reducerea consumurilor energetice la serele existente sau la cele proiectate în viitor, trebuie să se „conserve" căldura din seră şi să se reducă pierderile prin transmisie, care reprezintă procentul maxim din necesarul de căldură.

Studiind diverse soluţii de structuri ale serei în raport cu cea existentă, pierderile de căldură prin transmisie au valorile redate în tabelul 2.

Tabelul 2

Pierderile de căldură prin transmisie la sera „modul"de 1 ha

Varianta	MW	%
Construcţia actuală (geam simplu cu ramă metalică)	2,78	100
Construcţia actuală (cu manta suplimentară exterioară din folie PVC sau polietilenă)	2,08	75
Construcţia cu geamuri „izovit"	1,113	40
Construcţia cu strat de aer-izolator termic ($\delta_a = 20$ mm)	0,71	25

Tabelul 3

Calculul de eficiență economică și energetică pentru sera de 1 ha cu geamuri „izovit" sau „termopan" *

Varianta		$\Delta\dot{Q}_T$ [MW]	$\Delta E\ 10^{-6}$ [MJ/an]	ΔB [tc.c./an]	ΔC_e [lei/an]	ΔI [mii lei]	N [ani]
Seră cu geamuri „izovit"	cărbune	0,111	1,295	44,2	35 520	212 180	5,97
	gaze naturale	0,111	1,295	44,2	40 513	212 180	5,23
	păcură	0,111	1,295	44,2	53 016	212 180	4,00
Seră cu geamuri „termopan"	cărbune	0,111	1,295	44,2	35 520	212 180	6,20
	gaze naturale	0,111	1,295	44,2	40 513	212 180	5,44
	păcură	0,111	1,295	44,2	53 016	212 180	4,16

* Calculele se repetă doar la suprafața laterală a serei „modul" de 1 ha (durata de încălzire $\tau_i = 3240$ ore/an).

Concluziile unui calcul privind eficiența economică și energetică pentru o soluție nouă de construcție a serei de 1 ha cu geamuri „izovit" sau „termopan", produse de I. S. Buzău, sînt redate în tabelul 3 [2].

Se observă eficiența soluției cu geamuri „izovit", termenul teoretic pentru recuperarea investiției rezultînd de circa 4—6 ani, în funcție de natura combustibilului echivalat. Pierderile de căldură prin suprafața laterală a serei se reduc cu circa 50%, obținîndu-se economii anuale de circa 35 000—53 000 lei/ha și de combustibil convențional de circa 44 t c.c./ha.

Desigur, ca în orice soluție tehnică există și unele dezavantaje, legate de: tehnica de prindere a geamurilor în „ochiuri" de 0,85—1 m² care trebuie să asigure închiderea perfectă în raport cu rama metalică; posibile tensionări la montajul neîngrijit sau forțat, cu efectul distrugerii stratului de aer — izolator termic; îmbătrînirea bandei adeziv (cheder) cu efectul pierderii etanșării și infiltrației de aer umed în aerul uscat, deci cu înrăutățirea rapidă a caracteristicii termotehnice a structurii. Numai testarea pe o seră pilot construită cu astfel de geamuri poate conduce la concluziile necesare adoptării ei pe scară largă.

În ceea ce privește construcția modernă de seră cu anvelopă dublă și strat de aer izolator termic, practicată în Olanda, R.F.G., Suedia, Belgia, Franța, Italia etc., ne-a preocupat stabilirea grosimii optime a stratului de aer la condițiile nominale de proiectare a instalației de încălzire a serei și comportarea unei astfel de structuri impuse, în regim dinamic, odată cu modificarea „semnalului" termic.

3. Modelul matematic

Conform modelului de calcul din figura 3, conductivitatea termică echivalentă a stratului, care ține seama de procesele de conducție moleculară, convecție și radiație termică în strat este [4]:

$$\lambda_{ec} = \lambda_0 + \lambda_{cv} + \lambda_{rad} \qquad (1)$$

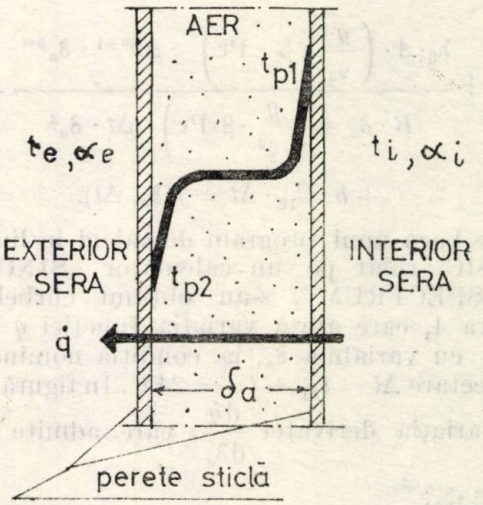


Fig. 3. Modelul matematic pentru transferul căldurii printr-un strat de aer vertical.

sau:

$$\lambda_{ec} = \lambda_0 + \lambda_{cv} + \bar{b} \cdot C_{12} \cdot \delta_a, \qquad (2)$$

cu:

$$\bar{b} = \frac{\left(\frac{T_{p1}}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_{p2}}{100}\right)^4}{t_{p1} - t_{p2}} \qquad (3)$$

și

$$C_{12} = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} - \frac{1}{C_0}}. \qquad (4)$$

Influența convecției libere în spațiul de aer limitat este exprimată prin relația:

$$\frac{\lambda_0 + \lambda_{cv}}{\lambda_0} = 1 + \frac{A \cdot (Gr \cdot Pr)^m}{B + (Gr \cdot Pr)}. \qquad (5)$$

Pentru un strat de aer vertical se poate folosi relația, [3]:

$$\frac{\lambda_0 + \lambda_{cv}}{\lambda_0} = 1 + \frac{0{,}0236 \cdot (Gr \cdot Pr)^{1{,}393}}{1{,}01 \cdot 10^4 + (Gr \cdot Pr)},$$

unde

$$\mathrm{Gr}=\frac{g\cdot\delta_a^{\,3}}{\nu^2}\cdot\beta\cdot\Delta t;\quad \mathrm{Pr}=\frac{\nu}{a};\quad \Delta t=t_{p1}-t_{p2}.$$

Fluxul unitar de căldură care străbate stratul de aer este :

$$\dot q=\frac{\lambda_{ec}}{\delta_a}\cdot\Delta t=\left\{\lambda_0\cdot\left[1+\frac{A\cdot(\mathrm{Gr}\cdot\mathrm{Pr})^m}{B+(\mathrm{Gr}\cdot\mathrm{Pr})}\right]+b\cdot C_{12}\cdot\delta_a\right\}\cdot\frac{\Delta t}{\delta_a}=\frac{\lambda_0\cdot\Delta t}{\delta_a}+$$

$$+\frac{\lambda_0\cdot A\cdot\left(\dfrac{g}{\nu_2}\cdot\beta\cdot\mathrm{Pr}\right)^m\cdot\Delta t^{m+1}\cdot\delta_a^{\,3m}}{B\cdot\delta_a+\left(\dfrac{g}{\nu^2}\cdot\beta\cdot\mathrm{Pr}\right)\cdot\Delta t\cdot\delta_a^{\,4}}+$$

$$+b\cdot C_{12}\cdot\Delta t=f(\delta_a,\,\Delta t).\qquad(7)$$

Pe baza unui program de calcul în limbajul BASIC, rulat pe un calculator „SINCLAIR ZX-SPECTRUM", s-au obținut curbele din figura 4, care arată variația funcției $\dot q$ în raport cu variabila δ_a, la condiția nominală de proiectare $\Delta t = t_{p1} - t_{p2} = 24°C$. În figură apare și variația derivatei $\frac{\mathrm{d}\dot q}{\mathrm{d}\delta_a}$, care admite o rădăcină corespunzătoare unui minim pentru $\dot q$, la valoarea $\delta_a = 57$ mm.

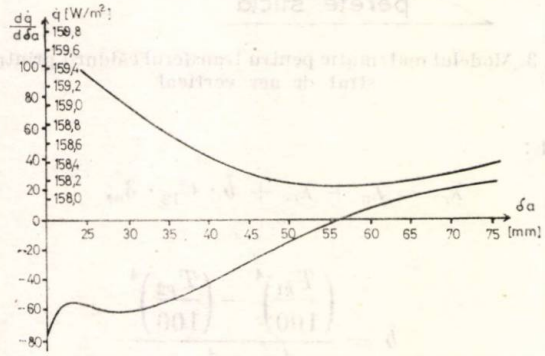


Fig. 4. Variația funcției $\dot q$ cu grosimea δ_a a stratului de aer vertical.

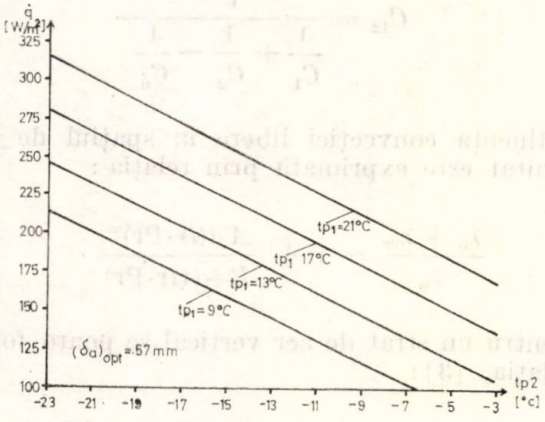


Fig. 5. Variația fluxului unitar $\dot q$ cu modificarea semnalului termic.

După stabilirea unei astfel de grosimi optime termotehnic, este necesar să se cunoască comportarea structurii laterale a serei la modificări ale condițiilor de temperatură exterioară, deci ale semnalului termic.

În figura 5 se prezintă curbele de variație ale fluxului unitar $\dot q$ (pierderilor specifice de căldură) pentru un strat de aer de grosime optimă teoretic, $\delta_a = 57$ mm.

Concluzii

În lucrare sînt prezentate succint rezultatele unei cercetări privind stabilirea unor metode și soluții de reducere a consumurilor energetice la serele de mare capacitate. În final, se stabilește grosimea optimă a stratului de aer — izolator termic, pentru construcția de seră cu geamuri duble și se studiază comportarea acestei structuri în regim dinamic, la variația semnalului termic. Datorită volumului mare de calcule implicate în studiu s-a utilizat un program original pentru calculatorul „SINCLAIR ZX-SPECTRUM" și s-au trasat curbe care justifică existența unui minim al fluxului unitar $\dot q$ în raport cu grosimea unui strat de aer vertical.

Notații folosite:

a — difuzivitatea termică, m²/s;
B — cantitatea de combustibil, t c.c.;
b — factorul de temperatură, K³;
C_{12} — coeficientul redus de radiație termică, W/m²K⁴;
g — accelerația gravitațională, m/s²;
I — investiția, lei;
N — termenul de recuperare, ani;
t — temperatura, °C;
T — temperatura termodinamică, K;
$\dot q$ — fluxul unitar de căldură, W/m²;
$\dot Q$ — fluxul de căldură, W;
β — coeficientul volumic de dilatare izobară, K⁻¹;
δ — grosimea, m;
λ — conductivitatea termică, W/m K;
ν — viscozitatea cinematică, m²/s;
Gr — criteriul Grashof;
Pr — criteriu Prandtl.

Indici

a — aer; *inf* — infiltrație; *rad* — radiație;
cv — convecție; 0 — conducție pură; *s* — sol;
ec — echivalentă; *p* — perete; *S* — solară;
T — transmisie.

Bibliografie

[1] Mihăilă, C. *Studiul soluțiilor de modernizare a tipurilor de sere existente, în vederea reducerii consumurilor energetice și a creșterii producției.* Contract de cercetare nr. 224, I.C.B., 1986.

[2] Mihăilă, C. *Simularea pe calculator a regimului dinamic al unei sere.* Contract de cercetare nr. 109, I.C.B., 1987.

[3] Cammerer, I. S. *Der Wärme und Kälteschutz in der Industrie.* Springer Verlag, Berlin, 1962.

[4] Mihăilă, C. ș.a. *Procese și instalații industriale de uscare.* Ed. Tehnică, București, 1982.

(Primit la 7 martie 1989, acceptat la 25 mai 1989)

Metode de economisire și utilizare rațională a energiei termice necesare în industria ușoară

Ing. DUMITRU ROMAȘ*

Descriptori: căldură, optimizări, industria ușoară

În articol se prezintă unele metode și strategii folosite pentru raționalizarea consumurilor energetice necesare proceselor din industria ușoară și se descriu cîteva aplicații concrete realizate și verificate în exploatare după criteriile expuse.
Autorii articolului consideră că unele dintre procedeele și instalațiile prezentate pot fi aplicate și în alte domenii industriale în care sînt folosite procese generatoare de resurse energetice refolosibile de nivel termic scăzut și/sau procese generatoare de substanțe chimice agresive pentru mediul ambiant.

The paper presents some methods and strategies for the energy consumption decrease in the light industry processes. Some practical applications tested in operation to meet the criteria set up are enumerated.

The authors consider that some of these methods can be used also in other industrial branches where there occur processes generating energy sources reusable for a low thermal level and/or processes generating chemical products aggressive for the environment.

Criterii generale

În actuala etapă de dezvoltare tehnologică, factorii principali care ar trebui să influențeze deciziile asupra priorităților de introducere a noilor tehnologii sînt următorii :

a — necesitatea imperioasă de a economisi energia, ca o primă măsură la caracterul iminent de epuizare a combustibililor fosili și minerali existenți ;

b — recunoașterea, la scară mondială, a priorității criteriilor ecologice față de criteriile generale de eficiență economică (inclusiv în promovarea tehnologiilor pentru producerea de bunuri destinate pieții externe) și interzicerea în viitor a promovării unor tehnologii care urmăresc mărirea profitului și a beneficiilor pe seama deteriorării mediului ambiant.

Alți factori de conjunctură, cum ar fi cerințele pieții, calitatea produselor, productivitatea muncii etc., se găsesc deseori în relații de adversitate cu cele două criterii amintite. De exemplu, în industria ușoară, înlocuirea fibrelor naturale cu fibre sintetice și a produselor din piele naturală cu produse realizate din piele sintetică — ambele fiind atît energointensive, cît și poluante pentru mediul ambiant — reprezintă un obiectiv incompatibil cu cele două principii enunțate. Este necesară, în consecință, o ierarhizare logică a ponderii unor factori de influență, încă din stadiul de planificare a dezvoltării tehnologice.

1. Criterii specifice

Referindu-ne la întreprinderile și la tehnologiile existente în industria ușoară, raționalizarea consumurilor energetice implică o analiză de sistem pe baza conturului de bilanț energetic aplicat la fiecare fază sau operație din interiorul tehnologiei.

În cadrul acestei analize de sistem, noi am definit noțiunea de „tehnologie" fie ca o succesiune de faze în care intră materie primă și rezultă un produs finit (de exemplu obținerea firelor textile), fie ca o succesiune de operații în care un produs prelucrat este transformat în alt produs prelucrat (de exemplu, vopsirea firelor albite). Fiecărei faze sau operații din această succesiune îi sînt asociate niște mașini sau echipamente capabile să prelucreze o gamă largă de sortimente și, totodată, capabile să realizeze mai multe faze sau operații de proces (de exemplu, albire-vopsire-spălare sau uscare termofixare). Fiecare fază sau operație de proces are nevoie de anumiți parametri (presiune, temperatură, conținut de umiditate, viteză de deplasare etc.). Creșterea sau scăderea nejustificată a unui singur parametru față de valoarea prescrisă pentru produsul prelucrat la un anumit moment, conduce la scăderea randamentului energetic al utilajului, iar diversitatea sortimentelor prelucrate pe mașinile existente — funcție de cerințele pieții — impune modificarea în timp a parametrilor de lucru prescriși. De aici rezultă necesitatea introducerii tehnicii de măsurare, de reglare și de comandă automată a parametrilor urmăriți funcție de sortimentele prelucrate. Această măsură asigură optimizarea „intrărilor" în

* Ing. Dumitru Romaș — Institutul de Proiectări Tehnologice pentru Industria Ușoară, București.

conturul de bilanț, iar intrările optimizate asigură minimizarea „ieșirilor".

Cu alte cuvinte, volumul de resurse energetice refolosibile rezultat din sisteme sub forma unor agenți uzați purtători de energie, trebuie, în primul rînd, micșorat pînă la o valoare care corespunde regimului optim de funcționare tehnologică și, numai după îndeplinirea acestei condiții, trebuie valorificat prin integrarea în sistemul analizat a unor subsisteme de recuperare. Această strategie asigură micșorarea pierderilor de energie primară datorate ieșirilor necontrolate și, totodată, asigură diminuarea investițiilor necesare pentru valorificarea „ieșirilor".

2. Exemple și aplicații

Pornind de la criteriile menționate, în cadrul Institutului de Proiectări Tehnologice pentru Industria Ușoară au fost realizate și testate în exploatare mai multe obiective, dintre care cele mai reprezentative sînt următoarele:

2.1. În domeniul recuperărilor de energie termică (sisteme RET)

Aceste sisteme sînt concepute pe baza analizei de raționalizare a unui singur segment din fluxul tehnologic, în vederea creșterii randamentelor energetice în conturul de bilanț analizat, prin valorificarea cît mai avantajoasă a „ieșirilor" rezultate la regim de lucru optimizat.

2.1.1. O realizare în acest domeniu este prezentată în figura 1. Schema se referă la procesele de finisare discontinuă, dar procedeul poate fi aplicat cu succes și la liniile de vopsit-albit-spălat cu funcționare continuă.

Bucla de reglare a temperaturii funcționează astfel: termorezistența amplasată în

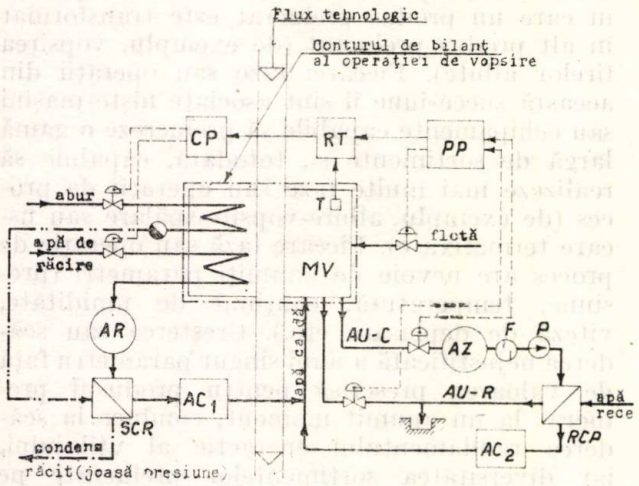


Fig. 1. MV — mașini de vopsit discontinuu; T — termorezistență; RT — regulator de temperatură; PP — programator de proces; CP — convertor electropneumatic; AR — acumulare apă de răcire indirectă; SCR — schimbător de căldură; AU-C — apă uzată caldă; AU-R — apă uzată rece; AZ — acumulare agent termic uzat; F — filtrare; P — pompare; RCP — schimbător de căldură cu plăci din inox; AC — rezervoare de acumulare apă încălzită.

flota de vopsire transmite un semnal de curent la regulatorul RT; de la programatorul de proces vine tot la regulator un semnal prescris, care este comparat cu mărimea măsurată. Semnalul electric rezultat din compararea celor două mărimi este introdus în convertorul electropneumatic CP; semnalul pneumatic rezultat din convertor acționează asupra membranei ventilului de abur în faza de încălzire a flotei, respectiv asupra ventilului de apă rece pentru introducerea acesteia în faza de răcire.

Apa de răcire încălzită parțial în proces este acumulată și introdusă într-un schimbător de căldură încălzit cu condensul rezultat din abur. Se prepară în acest mod o parte din apa tehnologică necesară în proces. Apa caldă uzată colectată după criteriul temperaturii măsurate la evacuare este stocată, filtrată și trimisă într-un recuperator de căldură modular, executat dintr-un pachet de plăci profilate prin ambutisare.

Din măsurătorile și testările efectuate la instalațiile puse în funcțiune a rezultat că apa rece de la rețeaua întreprinderii poate fi încălzită pînă la 60°C dacă agentul rezidual introdus în recuperator are o temperatură la evacuare de 70°C.

Acest tip de recuperator oferă următoarele avantaje:

a — regim de turbulență sporit care conduce la creșterea coeficientului de schimb global de căldură și reducerea zonelor de stagnare a fluidelor, deci reducerea depunerilor pe suprafețele de schimb termic;

b — se reduce spațiul ocupat cu circa 50—60% față de schimbătoarele de căldură clasice;

c — se asigură modularea suprafețelor de schimb caloric prin posibilitatea variației numărului de plăci în funcție de debitul de agent termic uzat rezultat din proces.

Prin utilizarea acestui procedeu se acoperă necesarul de apă caldă tehnologică de nivel termic pînă la 60°C, în proporție de 55—65%. Eforturile de investiție necesare se amortizează în cel mult 3 ani de funcționare. În plus, se evită poluarea termică a apelor de suprafață.

2.1.2. Sistemele RET aplicate la finisajele uscate nu diferă — din punctul de vedere al criteriilor care determină luarea deciziilor — de cele aplicate la finisajele umede.

În cazul operațiilor de uscare, determinarea debitului de aer cald evacuat din uscătoare care corespunde regimului optim de funcționare, are o importanță deosebită pentru consumul de energie necesar încălzirii uscătoarelor. Curba debitului de aer umed evacuat din uscător în funcție de umiditatea absolută a aerului (exprimată în grame apă/kg aer evacuat) are forma din figura 2.

Conținutul de umiditate admis în aerul recirculat trebuie să nu depășească o valoare critică la care apare pericolul de condensare a vaporilor de apă pe materialele din interiorul uscătorului, dar această condiție poate fi îndeplinită cu o limită de siguranță suficient de

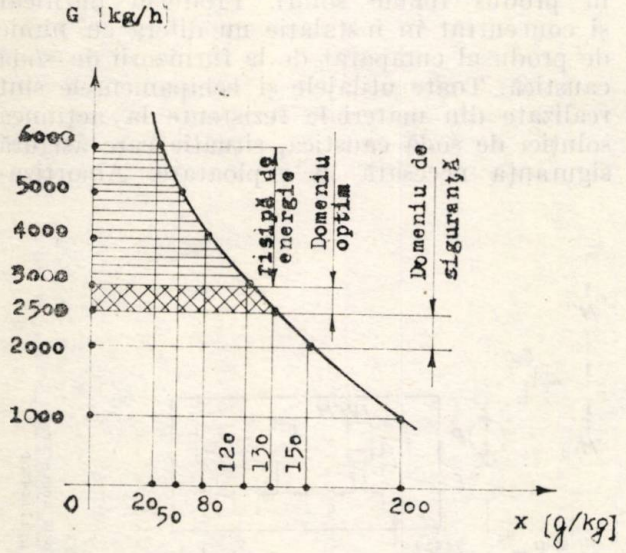


Fig. 2. Variația debitului de aer umed evacuat din uscător în funcție de umiditatea absolută a aerului exhaustat.

mică. Luînd, de exemplu, o valoare de $x = 150$ g/kg la care apare pericolul de condensare a vaporilor de apă pe material, rezultă că ventilatoarele de recirculare și de exhaustare trebuie reglate pentru un domeniu de umiditate absolută admisă în interior, cuprins între 120—130 g/kg. Admiterea unei încărcări în vapori de apă a aerului recirculat mai mici

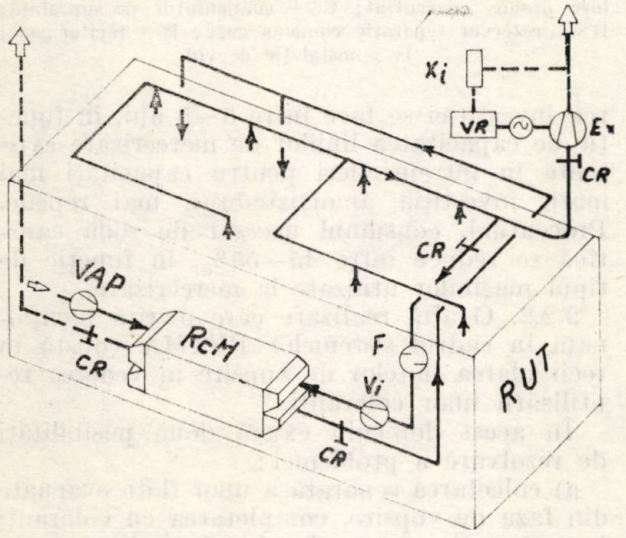


Fig. 3. Ramă dotată cu recuperator de căldură: RUT — — ramă de uscat-termofixat; RcM — recuperator de căldură modular; Ex — exhaustor de aer cald; VR — variator de turație; xi — traductor de umiditate; Vi — ventilator de introducere; VAP — ventilator de aer proaspăt; Cr — clapete de reglare.

(cum se întîmplă uneori în exploatare) conduce la majorarea debitelor de aer evacuat (încălzit la 150—180°C), iar prevederea unui recuperator de căldură suplimentar dimensionat pentru debitul care se exhaustează nejustificat nu reprezintă o raționalizare a consumului energetic.

În figura 3 se prezintă o ramă dotată cu recuperator de căldură dimensionat pentru debitul de aer cald uzat care rezultă la regim reglat de exhaustare.

Din testările efectuate la instalațiile puse în funcțiune pînă la această dată, rezultă că eficiența recuperării este determinată de interesul beneficiarilor pentru curățirea periodică a filtrelor și a suprafețelor de schimb caloric (plăci plane demontabile).

2.1.5. O realizare specifică valorificării căldurii conținute în aerul cald impurificat chimic și mecanic este prezentată în figura 4. Se folosește schimbul direct de căldură și masă între aerul uzat și un agent de lucru intermediar.

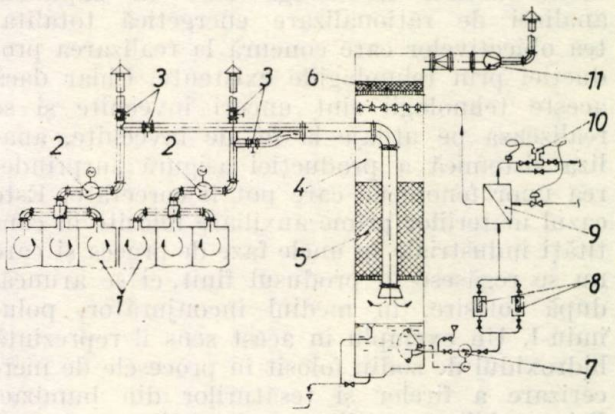


Fig. 4. Schema valorificării căldurii obținute în aerul cald impurificat chimic și mecanic: 1 — ramă pentru uscare-termofixare; 2 — exhaustoare de aer cald uzat; 3 — șibere de închidere; 4 — coloană circulară; 5 — umplutură din inele ceramice; 6 — separator de picături; 7 — pompă de circulație; 8 — filtre de impurități; 9 — schimbător de căldură cu plăci; 10 — regulator direct de temperatură; 11 — exhaustor de aer răcit.

Ca fluid intermediar de lucru se folosește apă dedurizată tratată cu solvenți organici sau dezincrustanți chimici. Acest agent preia căldura conținută în aerul cald rezidual prin contactul direct dintre cele două fluide, contactul realizîndu-se pe o suprafață relativ mare, formată în interiorul coloanei.

Aerul cald rezidual intră pe la partea inferioară a coloanei fiind obligat să străbată stratul de umplutură așezat pe un grătar, apoi același aer mai traversează o zonă de picături fine, de unde prin intermediul unui separator este exhaustat în exterior. În coloană se realizează atît cedarea de căldură prin contact direct, cît și spălarea aerului de către fluidul intermediar pulverizat printr-un sistem de stropire. Se asigură în acest mod posibilitatea folo-

sirii aerului cald spălat, fie ca agent de încălzire directă a spațiilor de lucru din întreprindere, fie ca agent termic pentru preîncălzirea altor agenți utilizabili în procese.

Stratul de umplutură este format de preferință din inele ceramice, iar grosimea acestuia este în funcție de debitul disponibil la resursa reziduală.

Instalația poate fi aplicată și în alte sectoare industriale care generează aer cald rezidual avînd o temperatură la coș de cel puțin 70°C pentru un debit de circa 10 000 kg/h.

2.2. În domeniul recuperării de materii prime auxiliare (sisteme RETMA)

2.2.1. Urmărind cele expuse putem observa că recuperările de energie termică prin sisteme RET pot fi aplicate pe baza analizei unor segmente (gaze de proces) din ciclul de fabricație. Imperativele arătate în introducerea acestui articol ne obligă însă să supunem analizei de raționalizare energetică totalitatea obiectivelor care concură la realizarea producției prin tehnologiile existente. Chiar dacă aceste tehnologii sînt uneori învechite și se realizează pe utilaje la fel de învechite, analiza sistemică a producției asigură surprinderea unor fenomene care pot fi corectate. Este cazul materiilor prime auxiliare folosite în cantități industriale în unele faze de proces și care nu se regăsesc în produsul finit, ci se aruncă, după folosire, în mediul înconjurător, poluîndu-l. Un exemplu în acest sens îl reprezintă hidroxidul de sodiu folosit în procesele de mercerizare a firelor și țesăturilor din bumbac. Prin stabilirea, realizarea și verificarea în exploatare a unui procedeu de valorificare a acestei substanțe — aflată în apa uzată caldă — rezultată în faza de spălare după mercerizare, se obțin atît efecte sociale, cît și efecte economice în structurile sistemelor de fabricație astfel:

a) se reduce consumul de energie înglobată în produsul vîndut de către producătorul de sodă caustică către întreprinderile textile care o folosesc, corespunzător cu cantitățile de sodă economisită;

b) se reduce consumul de acid sulfuric (și energia înglobată în acest produs) la producătorul de acid sulfuric corespunzător cu cantitatea necesară pentru neutralizarea apelor alcaline rezultate din finisajele chimice;

c) se evită cheltuielile materiale și consumurile energetice necesare funcționării instalațiilor de neutralizare, iar poluarea apelor de suprafață scade corespunzător cu cantitatea de sulfați care s-ar forma în apă la contactul dintre cele două substanțe.

Schema simplificată a instalației realizate este prezentată în figura 5.

Vaporizatoarele și separatoarele din componența instalației de concentrare sînt dimensionate pentru o capacitate de 2 tone pe zi (circa 600 t/an) hidroxid de sodiu (exprimat în produs tehnic solid). Produsul purificat și concentrat în instalație nu diferă cu nimic de produsul cumpărat de la furnizorii de sodă caustică. Toate utilajele și echipamentele sînt realizate din materiale rezistente la acțiunea soluției de sodă caustică, situație care asigură siguranța necesară în exploatare. Amortiza-

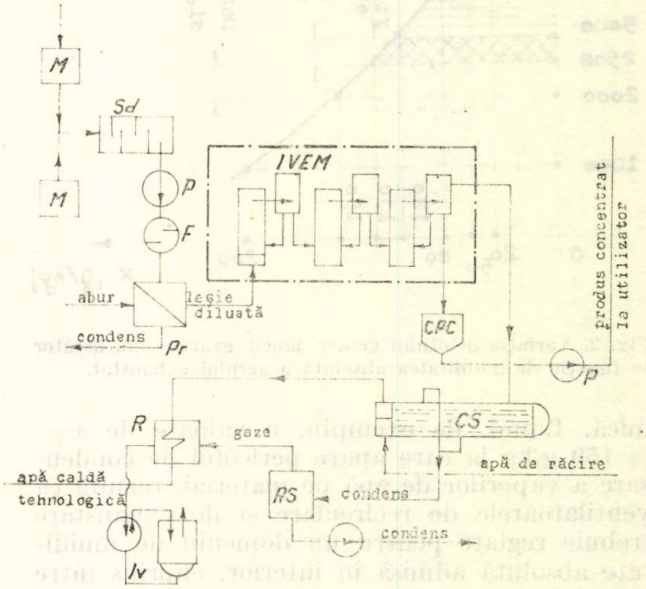


Fig. 5. Instalație de neutralizare: M — mașină de mercerizat; Sd — separator-decantor; P — pompare; Pr — preîncălzire; IVEM — evaporare, sistem triplex; CPC — colectare produs concentrat; CS — condensator de suprafață; RS — rezervor separație condens gaze; R — răcitor gaze; Iv — instalație de vid.

rea investiției se face între 3—5 ani, în funcție de capacitatea liniilor de mercerizare existente în întreprinderi pentru capacități mai mari, investiția amortizîndu-se mai repede. Procentual, consumul necesar de sodă caustică se reduce între 45—55%, în funcție de tipul mașinilor utilizate la mercerizare.

2.2.2. O altă realizare care merită menționată în cadrul sistemelor RETMA constă în recircularea flotelor de vopsire în vederea reutilizării unor coloranți.

În acest domeniu există două posibilități de rezolvare a problemei:

a) colectarea separată a unor flote evacuate din faza de vopsire, completarea cu coloranți în proporția necesară și reintroducerea în proces a volumului recuperat și recondiționat;

b) concentrarea coloranților în vaporizatoare cu efect multiplu în scopul epurării ter-

mice a apelor uzate rezultate din vopsitorii și obținerea unui distilat din apa uzată impurificată cu coloranți sintetici. Precizăm că prin realizarea acestui obiectiv nu rezultă o eficiență economică ridicată (datorită prețului scăzut al apei de alimentare care se recirculă în proces), dar efectul social obținut se înscrie în criteriile la care ne-am referit în introducere.

Concluzii

1. Am arătat — pe cîteva exemple concrete — unele din posibilitățile și capacitățile noastre de rezolvare a problemelor ridicate de etapa actuală a dezvoltărilor tehnologice în vederea ridicării randamentelor energetice ale proceselor, concomitent — în cele mai multe cazuri — cu îndeplinirea imperativului de protejare a mediului ambiant. Schema generală a acestor activități este prezentată în figura 6.

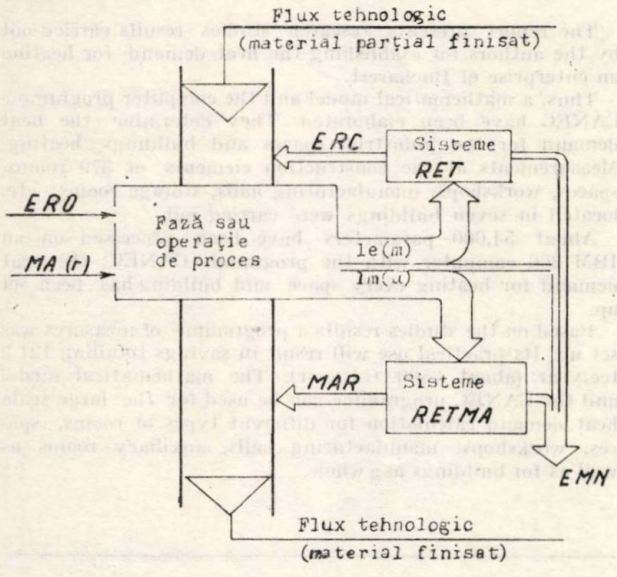


Fig. 6. ERO — energie intrată la regim de lucru optimizat; MA(r) — materii prime și auxiliare (intrări reglate); le(m) — ieșiri de energie uzată (minimizate); Im(u) — ieșiri de materii prime și auxiliare (uzate); ERC — energie termică recuperată; MAR — materii prime și auxiliare recuperate; EMN — energie și materiale recuperabile.

2. Modul de abordare și modelare a obiectelor supuse analizei de raționalizare energetică au importanță strategică în primul rînd la nivelul planificării tehnologiilor și în al doilea rînd la nivelul situației existente.

3. Analiza de sistem pe segmente ale ciclului de producție poate conduce la raționalizări energo-tehnologice numai cu condiția realizării în prealabil a unor subsisteme de măsură, control și reglare a parametrilor asociați fazelor de proces.

4. Rentabilitatea recuperărilor de energie termică (în cadrul sistemelor RET) trebuie determinată pe fiecare caz în parte, ținînd seama de specificitatea operațiilor din care rezultă purtători de căldură reziduală și de caracteristicile fizico-chimice ale acestora.

5. În luarea deciziilor de recuperare a materiilor prime și auxiliare agresive pentru mediul ambiant (inclusiv a coloranților sintetici) eficiența economică și financiară reprezintă un criteriu care trebuie subordonat criteriilor sociale.

Bibliografie

[1] Brevete IPIU București nr. 83091/84; 87 791/85; 89 489/86;

[2] Stumillo, C. *Bazele teoriei și tehnicii uscării*. Ed. Tehnică, București 1984.

[3] Carabogdan, I. Gh. ș.a. *Bilanțuri energetice, probleme și aplicații*. Ed. Tehnică, București, 1986.

(Primit la 29 martie 1989, acceptat la 26 mai 1989)

Cercetări privind determinarea necesarului de căldură la o întreprindere din București

Dr. ing. CONSTANTIN HAIDUC, mat. MIOARA MIREA*

Descriptori: consum de căldură, industrie

Lucrarea cuprinde rezultatele cercetării efectuate de autori privind stabilirea necesarului de căldură pentru încălzirea unei întreprinderi din București.

În cadrul acestor cercetări au fost elaborate un model matematic și programul CANEC de calcul al necesarului de căldură pentru încălzirea încăperilor și clădirilor industriale. Au fost efectuate măsurători asupra elementelor de construcție pentru 379 camere, încăperi, ateliere, hale de producție, depozite, holuri etc., grupate în șapte corpuri de clădiri.

Cu ajutorul calculatorului IBM-360 și al programului CANEC au fost prelucrați 54000 parametri, stabilindu-se necesarul de căldură pentru încălzirea fiecărei încăperi și clădiri.

Pe baza concluziilor cercetărilor a fost stabilit un program de măsuri care va aduce prin aplicare economii de 121,2 tc.c./an (circa 3500 GJ/an). Modelul matematic și programul de calcul CANEC pot fi utilizate pe scară largă pentru calculul necesarului de căldură pentru o gamă variată de camere, încăperi, ateliere, hale industriale și încăperi anexe, precum și pentru corpuri de clădiri formate din astfel de elemente de construcție.

The report presents research studies results carried out by the authors for esablishing the heat demand for heating an enterprise of Bucharest.

Thus, a mathematical model and the computer programme CANEC have been elaborated. They determine the heat demand for the industrial spaces and buildings heating. Measurements at the construction elements of 379 rooms, spaces, workshops, manufacturing halls, storage rooms, etc. located in seven buildings were carried out.

About 54,000 parameters have been processed on an IBM 360 computer with the programme CANEC; the heat demand for heating every space and building has been set up.

Based on the studies results a programme of measures was set up. Its practical use will result in savings totalling 121.2 tce/year (about 3500 GJ/year). The mathematical model and the CANEC programme can be used for the large scale heat demand calculation for different types of rooms, spaces, workshops, manufacturing halls, auxiliary rooms as well as for buildings as a whole.

Lucrarea de față a fost elaborată pe baza cercetărilor privind stabilirea necesarului de căldură pentru încălzirea clădirilor la una din întreprinderile din București.

Problema principală în acest caz o constituie determinarea pierderilor maxime posibile de căldură pentru fiecare spațiu ce trebuie încălzit. Pentru acest scop au fost elaborate modelul matematic și programul complex de calcul al necesarului de căldură al locuințelor, încăperilor și clădirilor industriale — CANEC.

Principiul de bază care a stat la fundamentarea acestora este acela al menținerii unei temperaturi interioare date în perioada de încălzire în care condițiile meteorologice se schimbă continuu și sînt cunoscute din observațiile și măsurătorile multianuale pentru fiecare localitate și zonă geografică.

Pierderile de căldură în aceste cazuri pot fi considerate de două feluri, și anume:

— pierderi de căldură prin pereți, planșee, podea, geamuri, uși sau alte suprafețe;

— pierderi de căldură datorită infiltrațiilor de aer, adică căldura necesară pentru încălzirea aerului care pătrunde prin rosturi, crăpături, uși și ferestre deschise, sau pentru încălzirea aerului introdus în încăperi prin ventilație.

Modelul matematic și programul de calcul CANEC pentru determinarea pierderilor de căldură a unei construcții conțin următoarele etape:

1 — se aleg condițiile de calcul referitoare la condițiile meteorologice: temperatură, intensitatea vîntului, direcția acestuia și variația acestor condiții pentru perioada de încălzire;

2 — se stabilesc temperaturile interioare care trebuie menținute în fiecare încăpere în funcție de specificul activității productive din acestea, respectiv a degajărilor interne de căldură dictate de procesele tehnologice respective;

3 — se stabilesc temperaturile spațiilor adiacente neîncălzite;

4 — se determină, pe baza planurilor clădirilor și a rezultatelor măsurătorilor, suprafețele pereților, ferestrelor, ușilor, planșeelor, luminatoarelor cu orientare în toate direcțiile, atît spre exteriorul clădirilor, cît și spre interiorul acestora;

5 — se stabilesc grosimile tuturor pereților, planșeelor, podelelor, acoperișurilor, ferestrelor, ușilor etc. materialele de construcție utilizate, precum și proprietățile termofizice ale

* Dr. ing. Constantin Haiduc, mat. Mioara Mirea — Institutul de Cercetare Științifică și Inginerie Tehnologică pentru Echipamente Energetice, București.

acestora : conductibilitate termică și căldurile specifice ;

6 — se determină coeficienții de transfer global al căldurii medii pentru fiecare perete, plafon, podea, fereastră, ușă, luminator, acoperiș etc., în funcție de condițiile termice interioare din încăpere și din exteriorul elementului respectiv ;

7 — se calculează pierderile de căldură pentru fiecare element de construcție considerat, ținînd seama de suprafață, coeficientul de transfer global al căldurii și diferența de temperatură dintre interiorul încăpèrii și exteriorul fiecărui element luat în considerație ;

8 — se determină căldura necesară ridicării temperaturii aerului infiltrat din exteriorul încăperii. Aceste infiltrări depind de tipul și dimensiunile rosturilor, orientarea încăperii spre punctele cardinale, viteza vîntului, diferența de temperatură între interior și exterior și natura proceselor tehnologice din încăpere ;

9 — atunci cînd există ventilație organizată se calculează și energia necesară pentru încălzirea aerului circulat prin ventilatoare ;

10 — suma pierderilor de căldură transmisă prin pereți, tavane, podele, ferestre, uși, luminatoare, plus căldura echivalentă necesară încălzirii aerului infiltrat sau ventilat, minus căldura degajată în încăperea respectivă, reprezintă căldura pierdută a încăperii respective.

Modul de calcul se complică dacă se consideră inerția termică a structurilor de construcție și se impune ca temperatura interioară să fie mai stabilă decît temperatura exterioară, cu alte cuvinte variațiile diurne ale temperaturii exterioare să producă variații acceptabile în interior. Valorile de calcul pentru temperaturile interioare în diferite tipuri de încăperi sînt normate într-un standard de stat. Condițiile exterioare limită de temperatură, vînt, orientarea clădirilor de care se ține seama la calcule sînt stabilite pe zone geografice și sînt impuse pe standard.

Cercetările efectuate s-au realizat în conformitate cu prevederile standardelor din R.S.R.

Aplicarea modelului de calcul și a programului de calcul CANEC la o construcție existentă poate pune în evidență anumite aspecte energetice, diferite de cele considerate atunci cînd s-a proiectat clădirea.

În multe cazuri, destinația încăperilor și a halelor de producție nu mai este cea considerată de proiectantul clădirii, iar aceasta poate afecta foarte mult pierderile de căldură, fără ca beneficiarul să cunoască implicațiile. De obicei, schimbarea destinației unui corp de clădire este asociată cu o modificare a puterii corpurilor de încălzire făcută mai mult sau mai puțin empiric, cu scopul de a realiza temperatura convenabilă pentru executarea lucrărilor stabilite.

Repartizarea spațiilor de producție se face, de obicei, pe bază de criterii prioritare : fluxul materialelor, gruparea proceselor tehnologice etc., neavîndu-se în vedere niciodată situația pierderilor de căldură asociată circulației masei de produse și materiale cu temperaturi diferite.

Cercetarea pierderilor de căldură pentru o clădire industrială în exploatare poate scoate în evidență următoarele :

— corespondența între capacitatea elementelor de încălzire și necesarul de putere pentru menținerea unei temperaturi normale în spațiile de producție ;

— compatibilitatea între posibilitatea construcției de a menține o temperatură dată și condițiile de climat cerute de procesul tehnologic respectiv ;

— măsuri posibile de diminuare a pierderilor de căldură pentru clădirile analizate ;

— stabilirea consumului de combustibil pentru sezonul de încălzire ;

— considerarea aportului de căldură degajată de procesele tehnologice trebuie făcută cu precauție, astfel ca instalația de încălzire să nu fie subdimensionată și să poată asigura funcționabilitatea spațiilor respective și în absența aportului de căldură al procesului tehnologic respectiv ;

— de asemenea, considerarea aportului de căldură necesar pentru compensarea căldurii aerului evacuat de ventilatoare, trebuie făcută cu precauții, avînd în vedere regimurile termice de funcționare foarte variate ale instalațiilor de ventilație.

O particularitate a modelului matematic și a programului de calcul CANEC constă în faptul că tratează separat problemele de transfer termic pentru fiecare element de clădire (perete, ușă, fereastră, luminator, plafon și podea din fiecare încăpere).

Programul CANEC a fost programat în limbaj COBOL și a fost utilizat pentru un număr de 379 camere, încăperi, ateliere și hale de producție pe baza unui volum foarte mare de măsurători privind fiecare element de construcție al fiecărei încăperi, în total circa 3000 elemente de construcție din șapte corpuri de clădire.

Pe calculatorul electronic IBM-360 au fost prelucrați în total 54 000 de parametri.

Necesarul anual de căldură pentru întreprinderea studiată a fost stabilit la 8273,8 Gcal/an (34,667 TJ/an) pentru lucrul în trei schimburi și 5515,85 Gcal/an (23,111 TJ/an) pentru lucrul în două schimburi față de consumul real de 5810 Gcal/an (24,34 TJ/an) pentru încălzire și apă caldă.

În urma cercetărilor efectuate de comun acord cu beneficiarul a fost elaborat un plan

de măsuri tehnico-organizatorice care cuprinde :

1 — îmbunătățirea izolației la conductele termice ;

2 — repararea și etanșarea geamurilor și luminatoarelor din halele și atelierele de producție ;

3 — dublarea geamurilor la birourile din trei corpuri de clădire ;

4 — contorizarea debitului de apă fiebinte, montarea de aparate înregistratoare de temperatură pe conducta de aducțiune a apei fierbinți în întreprindere.

Prin aplicarea măsurilor prevăzute mai sus în cadrul întreprinderii studiate se poate obține o economie anuală de combustibil de 121,2 t c.c./an (circa 3500 GJ/an).

Modelul matematic și programul de calcul CANEC elaborate și testate pot fi utilizate pe scară largă pentru determinarea pe calculatoarele electronice a necesarului de căldură pentru încălzirea diferitelor tipuri de clădiri, camere, încăperi, ateliere, depozite, hale industriale și clădiri de locuințe, ele asigurînd obținerea rapidă a rezultatelor cu o precizie ridicată.

Bibliografie

[1] *Instalații interioare în clădiri, vol. II*, Colecție STAS. Editura Tehnică, București, 1973.

[2] STAS 1907/1—80. *Instalații de încălzire. Calculul necesarului de căldură. Prescripții de calcul.*

[3] STAS 6473/3—73. *Fizica construcțiilor. Termotehnica. Calculul rezistenței la transfer termic și stabilitate termică.*

[4] STAS 1907/2-80. *Instalații de încălzire. Calculul necesarului de căldură. Temperaturi interioare convenționale de calcul.*

[5] STAS 6472/8—75. *Fizica construcțiilor. Hidrotehnica. Dimensionarea termoeconomică a elementelor de construcții. Prescripții generale de proiectare.*

[6] STAS 6472/5—73. *Fizica construcțiilor. Hidrotermica. Principii de calcul și de alcătuire pentru acoperișuri ventilate.*

[7] STAS 6472/2-83. *Fizica construcțiilor. Hidrotermica Parametrii climatici exteriori.*

[8] STAS 1797/1-79. *Instalații de încălzire centrală. Dimensionarea corpurilor de clădire. Prescripții generale.*

[9] STAS 1797/2—79. *Instalații de încălzire centrală. Dimensionarea radiatoarelor din fontă.*

10] STAS 1797/3—79. *Instalații de încălzire. Dimensionarea corpurilor de încălzire din țevi netede.*

(Primit la 8 februarie 1989, acceptat la 25 mai 1989)

NOUTĂȚI

Din energetica mondială

* * *

Costul total al coroziunii produse în timp de un an în S.U.A. este apreciat la circa 3,5 miliarde de dolari, din care numai costurile datorate coroziunii turbinelor sînt estimate la circa 600 milioane de dolari.

S-a făcut apel la chimiștii tehnologi pentru analiza și studiul fenomenelor, în scopul minimizării fenomenului de coroziune, prin orice metode și proceduri.

EPRI (principalul institut de cercetări energetice din S.U.A.) a răspuns la această chemare prin introducerea încă din 1988 în planul său de cercetare a unei teme complexe în acest domeniu.

Din: CEGB Abstracts, nov.-dec. 1988)

PERSPECTIVELE DEZVOLĂRII CERAMICII CU UTILIZĂRI TEHNICE ÎN INDUSTRIA ENERGETICĂ ÎN MAREA BRITANIE

La universitatea din Leads (Marea Britanie) s-a efectuat o amplă analiză privind perspectivele dezvoltării producției pieselor de ceramică cu utilizări tehnice și a pieților de desfacere în țară. În mod convențional, piesele de ceramică industrială se împart în trei grupe:

A. Piese ceramice, posedînd în mod evident proprietăți electrice sau magnetice (condensatoare, traductoare, magneți etc.); producția acestei categorii de piese este bine organizată și are tendință permanentă de creștere.

B. Piese ceramice de tăiat și abrazive pentru metale, din care s-au evidențiat instrumentele ceramice de tăiat din argilă armată cu ZrO_2 și care posedă o serie de avantaje față de carbidul de Wolfram; această grupă de piese are, de asemenea, o piață asigurată.

C. Piese ceramice utilizate la mașinile termice, în condițiile unor temperaturi înalte; această grupă este insuficient dezvoltată în Marea Britanie, cu toate că această direcție se consideră cea mai de perspectivă.

Cauzele stagnării constau în siguranța insuficientă și în costurile încă foarte mari la piesele de ceramică.

Prezența unor palete corespunzătoare de ceramică la rotoarele de lucru ale turbinelor cu gaze ar permite ridicarea temperaturii în zona de lucru de la 1100°C la 1300°C; din păcate, piesele ceramice respective nu posedă calități mecanice suficiente și se distrug la cea mai mică abatere de la regimul normal de funcționare a turbinei. La motoarele diesel avantajele principale ale pieselor de ceramică (rezistență la uzură și un coeficient redus de inerție) nu sînt totuși atît de mari încît să justifice prețurile foarte ridicate ale acestora.

În articolul din publicația „Appl. Eng. Ceram-Engine" Appl. Pap. Semin. London, 26 apr. 1988, se fac în final recomandări de perfecționare a structurii materialelor ceramice și de optimizare a proceselor de fabricație.

(După: Referativnîi jurnal, 22, Energhetika, vol. general, nr. 9, 1988, poz. 9S 129)

Factorul de reținere al focarului la cazane cu funcționare pe lignit, în schema de insuflare directă cu mori ventilator cu ciocane

Ing. MIRCEA RĂDULESCU, ing. MARIAN VLĂDESCU*

În articol este pusă în evidență, pe baza prelucrării pe calculator a datelor experimentale, variația factorului de reținere al focarului funcție de unii parametri funcționali și constructivi pentru cazane de fabricație românească care ard lignit în stare pulverizată, în schema de insuflare directă cu mori ventilator cu ciocane și evacuarea zgurii în stare solidă. De asemenea, este stabilită o relație de calcul pentru factorul de reținere al focarului la sarcina nominală funcție de mărimea (puterea) cazanului.

The paper outlines, by computer processing of experimental data, the furnace's retention factor variation depending on some operational and construction parameters for Romanian pulverized lignite fuelled boilers, in a direct injection scheme with fan beater mills and solid slag disposal. A calculation relation for the furnace's retention factor during rated load regime depending on the boiler size (load) is established.

The Retention Factor of Lignite Fuelled Boilers Furnaces in the Direct Injection Scheme With Fan Beater Mills

(Condensed from the paper in Romanian)

The retention factor (degree) (a_{zg}) of a pulverized solid fuel burning furnace represents the fuel slag part dropped into the cold funnel an dispose together with the slag resulted of the total ash quantity introduced with the fuel into the furnace :

$$a_{zg} = \frac{D_{zg}(100 - C_{zg})}{BA^i} \cdot 100 \ \%,$$

where :

D_{zg} — the solid material (slag) flow dorpped into the cold funnel of the furance, kg/s ;

C_{zg} — the contents of the slag combustibles (unburnt) material, % ;

B — the solid fuel flow introduced into the furnace, kg/s ;

A^i — the solid fuel ash content, with reference to the, initial mass, %.

The analysis and statistical processing by means of a computer programme and of a graphical computer representation of the data obtained by thermotechnical tests of steam boilers (1035 t/h, 420 t/h, 120 t/h) and hot water boilers (116.3 MW) burning pulverized Romanian lignites, in a direct injection scheme and with solid slag disposal, have outlined the following correlations :

— the furnace retention factor decreases linearily with the boiler load ;

— the dust grinding fineness improvement leads to the decrease of the furnace's retention factor (1035 t/h boiler) ;

— the improvement of the dust burners construction and of the furnace's aerodynamics contribute to the decrease of the furnace's retention factor (420 t/h boiler) ;

— the furnace's retention factor for the boiler rated load depends on the boiler's dimension (power) according to relation :

$$a_{zg\ nom} = 1{,}2 + \frac{1200}{Q_{nom}}$$

where Q_{nom} is the boiler rated load (MW).

* Ing. Mircea Rădulescu, ing. Marian Vlădescu — ICEMENERG București.

Arderea combustibililor solizi în focarele cazanelor de abur sau de apă fierbinte este afectată de o pierdere datorată eliminării în procesul arderii a unei părți din materialul combustibil. Căldura conținută în materialul combustibil evacuat raportată la căldura totală introdusă cu combustibilul în focar constituie pierderea procentuală de căldură prin ardere mecanic incompletă.

La cazanele cu arderea combustibilului solid în stare pulverizată pierderea de căldură prin ardere mecanic incompletă are două componente :

— pierderea de căldură prin combustibilul nears căzut în pîlnia focarului și evacuat cu zgura ;

— pierderea de căldură cu combustibilul nears, antrenat din focar cu gazele de ardere către instalația de desprăfuire

și se determină cu relația :

$$q_m = (D_{zg}C_{zg} + D_{antr}C_{antr})\frac{Q^{mc}}{BQ_i^i}, \quad [\%] \qquad (1)$$

în care :

D_{zg} este debitul de material solid (zgură) căzut în pîlnia rece a focarului, kg/s ;

D_{antr} — debitul de material solid antrenat din focar cu gazele de ardere, kg/s ;

C_{zg} — conținutul de materii combustibile (nearse) în zgură, % ;

C_{antr} — conținutul de materii combustibile (nearse) în cenușa antrenată din focar cu gazele de ardere, % ;

Q^{mc} — puterea calorifică a materiilor combustibile în zgură și cenușă, kJ/kg ;

Q_i^i — puterea calorifică inferioară a combustibilului solid, kJ/kg ;

B — debitul de combustibil solid introdus în focar, kg/s.

Factorul (gradul) de reținere al focarului (a_{zg}) reprezintă cota parte de cenușă din combustibil căzută în pîlnia focarului și evacuată cu zgura din cantitatea totală de cenușă introdusă cu combustibilul în focar :

$$a_{zg} = \frac{D_{zg}(100 - C_{zg})}{BA^i} \cdot 100, \quad [\%] \qquad (2)$$

unde A^i[%] este conținutul de cenușă cu referire la masa inițială a combustibilului solid.

Cota de cenușă din combustibil antrenată din focar de gazele de ardere (a_{antr}) rezultă din bilanțul material al masei minerale și este :

$$a_{antr} = 100 - a_{zg}[\%]. \qquad (3)$$

În faza de proiectare a cazanelor, pierderea de căldură prin ardere mecanic incompletă se alege pe bază statistică, în conformitate cu prevederile din literatura de specialitate [1], sau se evaluează pe baza datelor existente de la cazane cu combustibili similari și tehnologii de ardere asemănătoare [2].

Factorul de reținere al focarului (a_{zg}), precum și fracția de cenușă antrenată de gazele de ardere (a_{antr}) necesare calculelor de proiectare se aleg de asemenea pe baze statistice din literatură, funcție de tipul instalației de ardere și combustibilul utilizat [1]. Pentru cazane energetice cu funcționare pe lignit și în special pentru arderea în stare pulverizată a ligniților din R.S.R. literatura de specialitate este săracă în informații.

Totodată, trebuie menționat faptul că, chiar la același tip de cazan și același tip de combustibil, factorul de reținere al focarului variază funcție de încărcarea termică a focarului, finețea de măcinare a prafului, construcția arzătoarelor și aerodinamica focarului, adaosul de hidrocarburi pentru susținerea flăcării, debitul de aer terțiar insuflat la baza focarului etc. Pînă în prezent, datele existente cu privire la funcționarea cazanelor pe lignit din țara noastră nu au fost prelucrate pentru evidențierea unor corelații de felul celor menționate mai sus.

Într-o lucrare anterioară [2] s-a făcut o analiză și prelucrare statistică a datelor existente de la încercările termotehnice de omologare sau măsurători de stabilire a performanțelor cazanelor cu funcționare pe lignit în schema de ardere cu insuflare directă și s-a propus o metodă de evaluare a pierderilor de căldură prin ardere mecanic incompletă, utilizabilă la proiectarea cazanelor sau la determinarea prin postcalcul a consumului specific de combustibil la centralele termoelectrice sau centrale termice. În cele ce urmează se vor analiza datele existente de la aceste măsurători în scopul evidențierii diferitelor influențe asupra factorului de reținere al focarului și implicit asupra pierderilor prin ardere mecanic incompletă. Încercările termotehnice și măsurătorile de performanță s-au efectuat conform prevederilor din prescripțiile tehnice ISCIR [3]. Prelucrarea datelor obținute la încercări termotehnice și măsurători s-a realizat cu ajutorul unui program de calcul și reprezentare grafică pe calculator (MULTIGRAF), pus la punct în ICEMENERG.

Datele supuse prelucrării au fost obținute la funcționarea unor cazane de abur (1035 t/h, 420 t/h, 120 t/h) și apă fierbinte (116,3 MW), la care se ard lignițI în schema de insuflare directă cu mori ventilator cu ciocane, cu evacuarea zgurii în stare solidă ; au fost luate în considerație numai rezultatele măsurătorilor efectuate în aceleași condiții și anume :

— arderea unor lignițI românești cu caracteristici în banda : $Q_i^i = 5360 - 7350$kJ/kg,

$W_t^i = 31 - 44\%$, $A^i = 20 - 37\%$;

— aportul caloric al combustibilului de adaos (gaze naturale sau păcură) pentru susținerea flăcării: 0—15%;

— coeficientul de exces de aer la ieșirea din focar (la sarcina nominală): $\alpha_f = 1{,}25 - 1{,}35$;

— debitul de aer terțiar insuflat la baza focarului sau la grătarul de postardere 4,5 — 8% din debitul total de aer de ardere;

— temperatura amestecului primar la ieșirea din mori: 100 — 140°C.

Principalele date constructive ale cazanelor la care s-au făcut încercările și măsurătorile sînt date în figura 1; aceste cazane sînt echi-

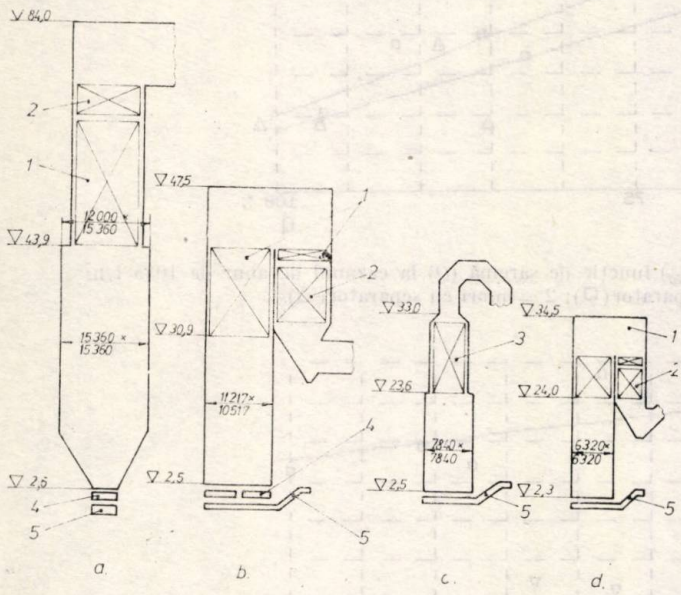


Fig. 1. Principalele date constructive ale cazanelor: a — cazan de abur 1035 t/h; b — cazan de abur 420 t/h; c — cazan de apă fierbinte 116,3 MW; d — cazan de abur 120 t/h; 1 — supraîncălzitoare; 2 — economizor; 3 — fascicul de convecție; 4 — grătar postardere; 5 — evacuator de zgură.

pate toate cu arzătoare de praf cu fante, jeturile create realizînd un turbion central; evacuarea zgurii se face în stare umedă, cu evacuator de zgură cu cuvă de apă și racleți, iar cazanele de debit mare (1035 t/h, 420 t/h) sînt echipate și cu grătare de postardere.

Principalii indicatori specifici ai focarelor acestor cazane sînt prezentați în tabelul 1.

Rezultatele obținute din prelucrarea datelor experimentale sînt sintetizate în cele ce urmează:

1. La cazanul de abur de 1035 t/h s-au realizat, în mai multe etape, îmbunătățiri ale instalației de măcinare și ardere a lignitului [4]. Astfel, într-o etapă inițială, morile ventilator cu ciocane tip DGS—100 au funcționat fără separatoare de praf, cazanul fiind dotat cu grătar

Tabelul 1

Indicatori	U.M.	Cazan de: 1035 t/h (772,7 MW)	420t/h (284,3 MW)	120t/h (84,4 MW)	CAF 116,3 MW
Încărcarea termică a volumului focarului, q_V	MW/m³	0,11	0,14	0,14	0,15
Încărcarea termică a secțiunii transversale a focarului, q_F	MW/m²	4,22	3,14	2,69	2,42
Încărcarea termică a brîului de arzătoare, q_{br}	MW/m²	1,0	1,16	0,92	0,99

de postardere. Deoarece nearsele în zgură aveau valori foarte mari, ulterior s-au introdus la mori separatoare de praf cu rezistență aerodinamică redusă [5], care nu au condus la o scădere sensibilă a debitului de cărbune măcinat, dar au condus la îmbunătățirea fineței de măcinare a prafului. Astfel, la morile fără separatoare finețea de măcinare a prafului era caracterizată prin $R_{1000} = 9-13$ %, $R_{90} = 65-85\%$, în timp ce morile cu separatoare de praf realizează o finețe de măcinare mai bună, caracterizată prin $R_{1000} = 6-9$ %, $R_{90} = 55-65\%$. Prelucrarea grafică pe calculator a datelor experimentale obținute la măsurătorile efectuate la cazanul de 1035 t/h a permis punerea în evidență a influenței sarcinii cazanului asupra factorului de reținere al focarului, precum și influența fineței de măcinare a prafului (în cele două variante de echipare: mori fără separatoare de praf și mori cu separatoare de praf) asupra acestui factor (fig. 2):

— creșterea sarcinii cazanului, deci creșterea încărcării termice a focarului, duce la reducerea valorii factorului de reținere al focarului (s-a obținut o dependență lineară a factorului de reținere al focarului cu sarcina cazanului);

— îmbunătățirea finețiі de măcinare a prafului duce la scăderea factorului de reținere al focarului.

2. La cazanul de abur de 420 t/h s-a analizat influența construcției arzătoarelor și aerodinamicii focarului asupra factorului de reținere al focarului. La acest cazan, în prima variantă constructivă, viteza aerului secundar în arzătoarele de praf era de 31 m/s (la sarcina nominală). Ulterior, pentru îmbunătățirea funcționării cazanului, s-au modificat arzătoarele de praf prin reducerea secțiunilor de insuflare a aerului secundar corespunzător realizării unei viteze de 50 m/s (la sarcina nominală). De asemenea, s-a trecut la funcționarea cazanului cu introducerea aerului secundar prin toate

arzătoarele de praf, inclusiv cele ale morilor oprite, în scopul realizării permanente a turbionului central în focar [6]. Prelucrarea grafică a datelor experimentale obținute la măsurătorile efectuate la cazanul de 420 t/h în cele două situații de funcționare arătate mai sus, a pus în evidență variația factorului de reținere al focarului funcție de sarcina cazanului și influența favorabilă asupra acestuia a creșterii vitezei de insuflare a aerului secundar, introdus în focar prin toate arzătoarele de praf. În cele două variante de funcționare morile echipate cu separatoare de praf au asigurat o finețe de măcinare a prafului asemănătoare $R_{1000} = 4-7\%$, $R_{90} = 48-56\%$. Se constată următoarele (fig. 3):

— în cazul arzătoarelor de praf cu viteză redusă a aerului secundar, factorul de reținere al focarului scade (de asemenea linear) odată cu creșterea sarcinii cazanului;

— prin îmbunătățirea construcției arzătoarelor de praf și a aerodinamicii focarului s-a obținut o reducere a factorului de reținere al focarului și totodată o diminuare a influenței sarcinii cazanului asupra acestuia.

3. Datele experimentale obținute la măsurătorile efectuate la un cazan de apă fierbinte de 116,3 MW pun, de asemenea, în evidență o variație lineară a factorului de reținere al focarului cu sarcina cazanului (fig. 4).

4. În sfîrșit, analiza efectuată a arătat pentru gama de cazane din tabelul 1 și o dependență foarte interesantă a factorului de reținere al focarului (la sarcina nominală) funcție de mărimea cazanului (fig. 5) — odată cu creșterea puterii cazanului factorul de reținere al focarului scade conform relației:

$$a_{zg,nom} = 1{,}2 + \frac{1\,200}{Q_{nom}},$$

unde: Q_{nom} este puterea nominală a cazanului (MW).

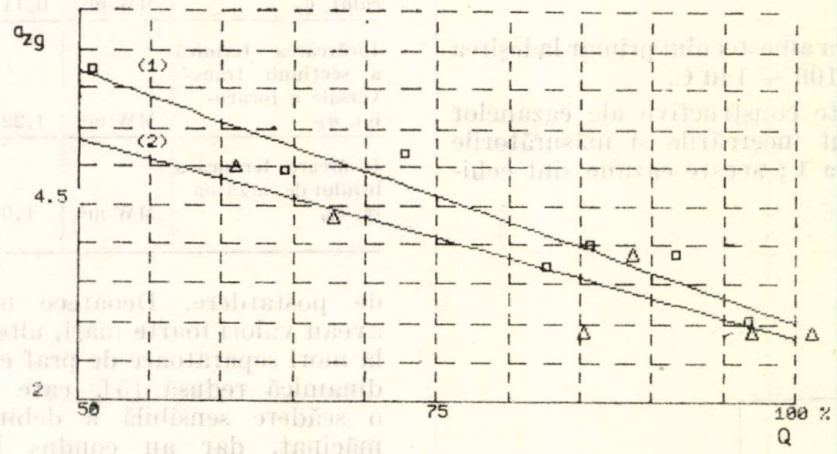


Fig. 2. Variația factorului de reținere al focarului (a_{zg}) funcție de sarcină (Q) la cazanul de abur de 1035 t/h: 1 — mori fără separator(□); 2 — mori cu separator(△).

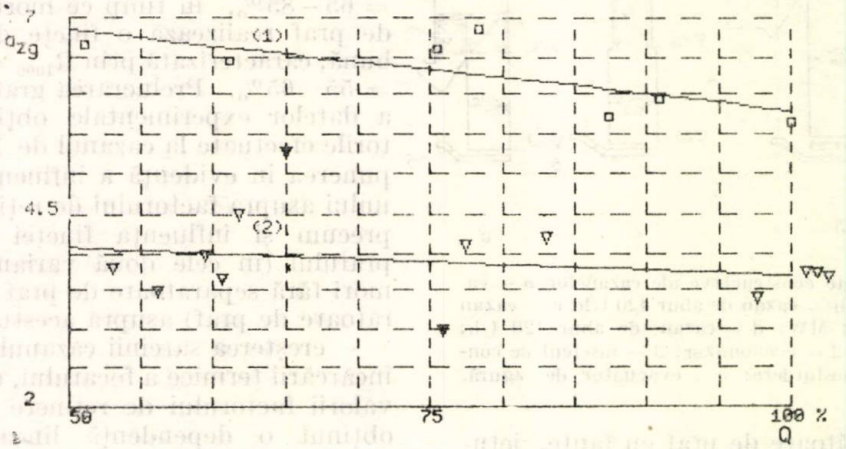


Fig. 3. Variația factorului de reținere al focarului (a_{zg}) funcție de sarcină (Q) la cazanul de abur de 420 t/h: 1 — arzătoare de praf cu viteza aerului secundar 31 m/s(□), aerul secundar insuflat numai la arzătoarele morilor în funcțiune; 2 — arzătoare de praf cu viteza aerului secundar 50m/s(△), aerul secundar insuflat prin toate arzătoarele.

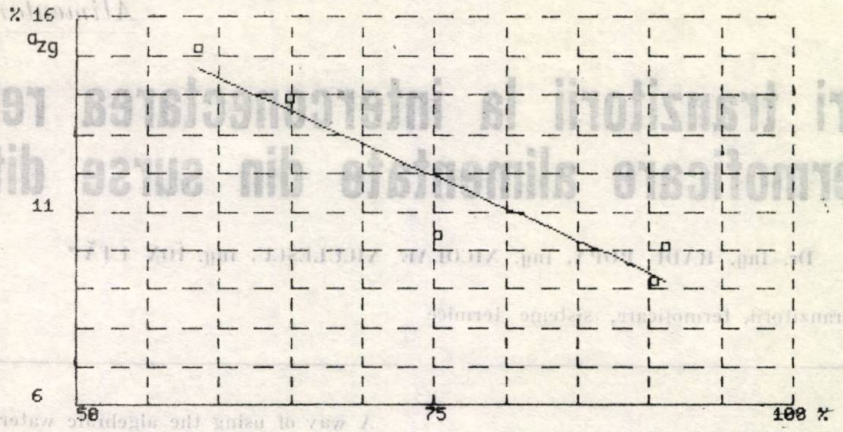


Fig. 4. Variația factorului de reținere al focarului (a_{zg}) funcție de sarcină (Q) la CAF de 116,3 MW.

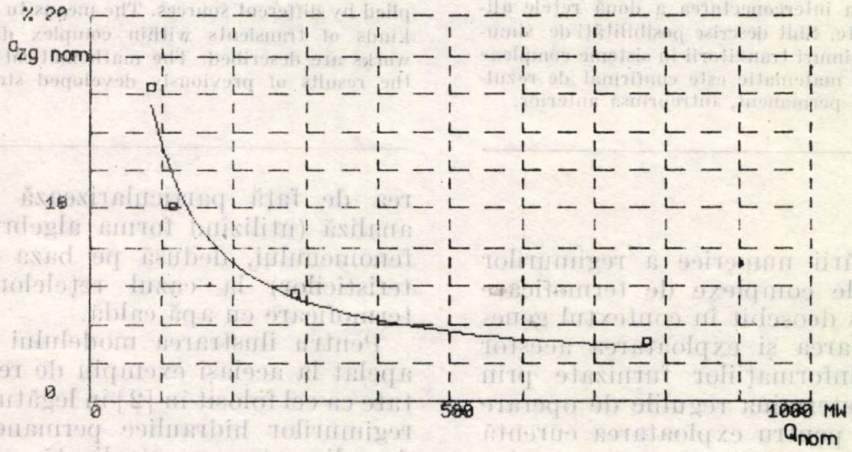


Fig. 5. Variația factorului de reținere al focarului la sarcina nominală ($a_{zg\,nom}$) funcție de mărimea (puterea nominală Q_{nom}) a cazanului.

Concluzii

În articol sînt prezentate rezultatele obținute prin prelucrarea și reprezentarea grafică pe calculator a datelor experimentale obținute la încercări și măsurători efectuate la cazane de abur și apă fierbinte de fabricație românească, cu arderea lignitului în stare pulverizată, pentru evidențierea unor factori de influență asupra gradului (factorului) de reținere al focarului. A fost pusă în evidență influența sarcinii cazanului (încărcarea termică a focarului) asupra fineții de măcinare a prafului, aerodinamicii arzătoarelor de praf și focarului; de asemenea, a fost stabilită o relație de calcul pentru factorul de reținere al focarului (la sarcina nominală) funcție de mărimea (puterea) cazanului.

Rezultatele obținute, corelate cu cele prezentate în articolul [2], sînt utilizabile pentru îmbunătățirea normativului de proiectare pentru cazanele care ard ligniți în stare pulverizată, precum și pentru planificarea sau postcalcularea consumului specific de combustibil la centralele termoelectrice echipate cu cazane de tipul celor supuse analizei.

Bibliografie

[1] Neaga, C., Epure, A. *Îndrumar. Calculul termic al generatoarelor de abur*. Ed. Tehnică, București, 1988.

[2] Rădulescu, M., Bolma, I. *Evaluarea pierderilor prin ardere mecanic incompletă la cazane cu funcționare pe lignit, cu insuflare directă a prafului în focar*. In: Energetica, 33, nr. 11, 1985, p. 491—497.

[3] ISCIR C10-82. *Prescripții tehnice privind încercările în vederea omologării cazanelor de abur și cazanelor de apă fierbinte*.

[4] Rădulescu, M., Roșu, A. *Îmbunătățirea instalației de măcinare și ardere a lignitului la cazanul blocului de 330 MW*. În: Energetica, 34, nr. 2, 1987, p. 65—72.

[5] Rădulescu, M. *Separator de praf de cărbune*. Brevet R.S.R. nr. 93765.

[6] Rădulescu, M. ș.a. *Încercările termotehnice pentru omologarea cazanului de 420 t/h, 13,7 MPa, 813 K pe lignit. Rezultate și măsuri pentru îmbunătățirea funcționării cazanului*. In: Energetica, 34, nr. 7, 1987, p. 295—306.

(Primit la 24 mai 1989, acceptat la 15 iunie 1989)

Regimuri tranzitorii la interconectarea rețelelor de termoficare alimentate din surse diferite

Dr. ing. RADU POPA, ing. NICOLAE NICULESCU, ing. ION UȚĂ *

Descriptori: regimuri tranzitorii, termoficare, sisteme termice

Se prezintă o variantă de utilizare a formei algebrice a ecuațiilor regimului nepermanent la studiul regimurilor tranzitorii în rețele complexe de termoficare. Sînt indicate rezultatele obținute pentru diferite reguli de manevră a vanelor de separație, la interconectarea a două rețele alimentate din surse diferite. Sînt descrise posibilități de simulare a altor tipuri de regimuri tranzitorii în sisteme complexe de termoficare. Modelul matematic este confirmat de rezultatele analizei de regim permanent, întreprinsă anterior.

A way of using the algebraic waterhammer equations to transient regimes simulation in complex district heating systems is presented. Some results derived for various separation valve operating rules are included to illustrate the transients during the interconnection of two networks supplied by different sources. The means to simulate some other kinds of transients within complex district heating networks are described. The mathematical model is proven by the results of previously developed steady state analyses

Introducere

Problema simulării numerice a regimurilor tranzitorii în rețele complexe de termoficare prezintă un interes deosebit în contextul general, vizînd proiectarea și exploatarea acestor rețele. Pe baza informațiilor furnizate prin simulare, se pot determina regulile de operare cele mai adecvate pentru exploatarea curentă (prin care să se evite funcționarea necorespunzătoare a sistemului în situațiile ce implică apariția regimurilor tranzitorii), dar, totodată, se pot estima consecințele unor manevre de avarie sau accidentale (ceea ce permite dimensionarea diferitelor componente de rețea la suprapresiuni calculate corect sau specificarea unor manevre de avarie obligatorii, pentru evitarea distrugerii instalațiilor).

Sub aspect teoretic, acest subiect continuă și extinde pe cel tratat de autori în [1, 2]. Dificultățile de rezolvare sînt însă mult mai mari, ținînd seama de faptul că ecuațiile matematice care descriu procesele fizice sînt acum ecuații cu derivate parțiale, nelineare. Includerea unor componente de rețea ca vane de reglare, stații de pompare etc., complică și mai mult abordarea. În plus, trebuie avute în vedere și condițiile specifice curgerilor în rețele buclate. Bibliografia de specialitate consultată [3 — 7 ș.a.] este dedicată tratării generale a subiectului, cu aplicații concrete la cazul rețelelor de alimentare cu apă. Lucrarea de față particularizează o variantă de analiză (utilizînd forma algebrică a ecuațiilor fenomenului, dedusă pe baza metodei caracteristicilor) la cazul rețelelor complexe de termoficare cu apă caldă.

Pentru ilustrarea modelului matematic, s-a apelat la același exemplu de rețele interconectate ca cel folosit în [2] în legătură cu simularea regimurilor hidraulice permanente în sisteme de alimentare centralizată cu căldură. Pe lîngă faptul că se reduce spațiul necesar prezentării unor date de intrare, rezultatele obținute elucidează comportarea rețelei respective pe durata regimurilor tranzitorii simulate și pot fi validate cu ajutorul rezultatelor cunoscute din regim permanent (spre care trebuie să tindă după un interval oarecare de timp).

1. Ecuațiile curgerii nepermanente în conducte sub presiune

Pe durata regimurilor tranzitorii într-o conductă sub presiune, procesele hidraulice sînt descrise de un model matematic alcătuit din două ecuații cu derivate parțiale, nelineare, reprezentînd conservarea energiei și respectiv a masei. Ele includ efectele compresibilității fluidului, elasticității pereților conductei și forțelor de rezistență vîscoasă.

Deducerea acestor ecuații se găsește în lucrări de referință ca [7], aici fiind preluate doar elementele de bază utile scopului urmărit.

a) Ecuația de mișcare

Considerînd ca variabile dependente presiunea în axul conductei, $p(x,t)$, și viteza medie a curgerii, $V(x, t)$, forma ecuației de mișcare

* Dr. ing. Radu Popa — Facultatea de Electrotehnică și Energetică, București, ing. Nicolae Niculescu, ing. Ion Uță — Institutul de Studii și Proiectări Energetice, București.

este :

$$\frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial x} + V\frac{\partial V}{\partial x} + \frac{\partial V}{\partial t} + g \cdot \sin\alpha + \frac{fV|V|}{2D} = 0, \tag{1}$$

unde :

ρ este densitatea fluidului ;
α — unghiul dintre axa conductei și orizontală ;
f — coeficientul de frecare ;
D — diametrul conductei.

În (1) s-a admis că pierderea de presiune prin frecare este de aceeași formă ca în regim permanent și s-a utilizat relația Darcy-Weisbach $\left(\Delta p = \frac{\rho f L}{2D} V^2\right)$.

Dacă se acceptă ca variabile dependente sarcina piezometrică, $H(x, t)$, și viteza medie, avînd în vedere relația de legătură

$$p = \rho g(H - z) \tag{2}$$

unde z este cota geodezică a axului conductei și admițînd ρ = const. (lichide), rezultă

$$\frac{\partial p}{\partial x} = \rho g\left(\frac{\partial H}{\partial x} - \frac{\partial z}{\partial x}\right) = \rho g\left(\frac{\partial H}{\partial x} - \sin\alpha\right), \tag{3}$$

iar (1) devine

$$g\frac{\partial H}{\partial x} + V\frac{\partial V}{\partial x} + \frac{\partial V}{\partial t} + \frac{fV|V|}{2D} = 0 \tag{4}$$

(ecuație valabilă pentru lichide).

Pentru $\frac{\partial V}{\partial x} = \frac{\partial V}{\partial t} = 0$, din (4) se deduce tocmai ecuația Darcy-Weisbach din regimul permanent, adică $\Delta H = -\frac{f\Delta x V|V|}{2gD}$. (5)

Pentru termenul de frecare se poate admite și o altă lege decît cea patratică, spre exemplu

$$\frac{\lambda V|V^{n-1}|}{D^m}, \tag{6}$$

unde coeficientul λ și exponenții m și n se determină astfel încît rezultatele să se ajusteze la cele considerate corecte (pe bază experimentală sau altfel).

b) Ecuația de continuitate

Sub forma cea mai generală — valabilă atît pentru conducte cu secțiune variabilă, cît și pentru conducte cilindrice, avînd chiar pereți foarte flexibili și indiferent de natura fluidului — această ecuație se scrie [7] :

$$\frac{\dot{A}}{A} + \frac{\dot{\rho}}{\rho} + \frac{\partial V}{\partial x} = 0, \tag{7}$$

unde : A reprezintă suprafața secțiunii transversale de curgere și este o funcție de x și t, iar prin $\dot{f}$ s-a notat derivata substanțială în raport cu timpul, adică $\dot{f} = V\frac{\partial f}{\partial x} + \frac{\partial f}{\partial t}$.

Notînd modulul de elasticitate al fluidului cu K $\left(\text{definit de relația } K = \frac{\Delta p}{\Delta\rho/\rho}\right)$ și ținînd seama de considerente de natură mecanică și de rezistența materialelor, din (7) se obține :

$$\frac{\dot{p}}{\rho} + a^2\frac{\partial V}{\partial x} = 0, \tag{8}$$

în care s-a notat :

$$a^2 = \frac{\frac{K}{\rho}}{1 + c_1\frac{K}{E}\frac{D}{e}}. \tag{9}$$

Constanta a include o sumă de proprietăți ale fluidului (prin K), ale conductei (prin E — modulul de elasticitate a materialului și e — grosimea peretelui) și modului de ancorare (prin coeficientul $c_1 = 1-0{,}5\ \mu$; $1-\mu^2$ sau 1, pentru ancorare în extremitatea amonte ; cu împiedicarea deplasării axiale sau respectiv pe suporturi elastice, iar μ = coeficientul Poisson). Pentru conducte cu pereți foarte groși $a \cong \sqrt{K/\rho}$ și reprezintă viteza de propagare a sunetului într-un mediu fluid infinit. În cazul apei la temperaturi obișnuite, $\sqrt{K/\rho} \cong 1440$m/s.

Dacă K se exprimă în funcție de sarcina piezometrică prin

$$K = \Delta H\frac{\rho g}{\Delta\rho/\rho}, \tag{10}$$

ecuația (8) se poate scrie și ca $gH + a^2\frac{\partial V}{\partial x} = 0$ (11)

sau — explicitînd derivata substanțială — sub forma :

$$V\frac{\partial H}{\partial x} + \frac{\partial H}{\partial t} + \frac{a^2}{g}\frac{\partial V}{\partial x} = 0 \tag{12}$$

2. Metoda caracteristicilor și forma algebrică a ecuațiilor

a) Principiul metodei caracteristicilor

Metoda caracteristicilor reprezintă unul dintre cei mai eficienți și frecvent folosiți algoritmi [3,4,6,7 ș.a.] pentru simularea numerică a regimului nepermanent în conducte sub presiune și — totodată — baza procedeului aplicat în lucrare la cazul rețelelor complexe de termoficare.

Se consideră ecuațiile mai simple :

$$L_1 = g\frac{\partial H}{\partial x} + \frac{1}{A}\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{fQ|Q|}{2A^2D} = 0$$

$$L_2 = \frac{\partial H}{\partial t} + \frac{a^2}{gA}\frac{\partial Q}{\partial x} = 0, \tag{13}$$

provenite din (4) și respectiv (12), unde s-au neglijat termenii cu pondere redusă, iar viteza medie s-a exprimat în funcție de debitul Q, admițînd conducta cilindrică.

Orice combinație liniară a acestor ecuații $L = L_1 + \alpha L_2 = 0$ va conserva caracteristicile fizice ale procesului și va putea fi folosită la determinarea soluției, dacă α este un parametru real oarecare. Deoarece $L = 0$ se scrie :

$$L = \alpha\left(\frac{g}{\alpha}\frac{\partial H}{\partial x} + \frac{\partial H}{\partial t}\right) + \frac{1}{A}\left(\frac{\alpha a^2}{g}\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial Q}{\partial t}\right) + \frac{fQ|Q|}{2A^2D} = 0, \tag{14}$$

și prin definiție $\frac{df}{dt} = \frac{dx}{dt}\frac{\partial f}{\partial x} + \frac{\partial f}{\partial t}$, (15)

este preferabil să se aleagă parametrul α astfel încît ecuația cu derivate parțiale (14) să se transforme într-o ecuație diferențială ordinară. Aceasta are loc dacă

$$\frac{dx}{dt} = \frac{g}{\alpha} = \frac{\alpha a^2}{g}, \tag{16}$$

respectiv pentru valorile $\alpha_{1,2} = \pm\frac{g}{a}$.

Rezultă sistemul de ecuații echivalent cu (13) :

$$\begin{cases} \frac{g}{a}\frac{dH}{dt} + \frac{1}{A}\frac{dQ}{dt} + \frac{fQ|Q|}{2A^2D} = 0 \text{ pentru} & (17a) \\ \frac{dx}{dt} = a & (17b) \end{cases}$$

și

$$\begin{cases} -\frac{g}{a}\frac{dH}{dt} + \frac{1}{A}\frac{dQ}{dt} + \frac{fQ|Q|}{2A^2D} = 0 \text{ pentru} & (18a) \\ \frac{dx}{dt} = -a & (18b) \end{cases}$$

Deoarece a este în general constantă, pentru o conductă dată, relațiile (17 b) și (18 b) reprezintă ecuațiile a două drepte de pante $\pm a$ în planul (x, t) al variabilelor independente (fig. 1). Aceste drepte se numesc caracteristici (pozitivă, notată C^+ și respectiv negativă, notată C^-),

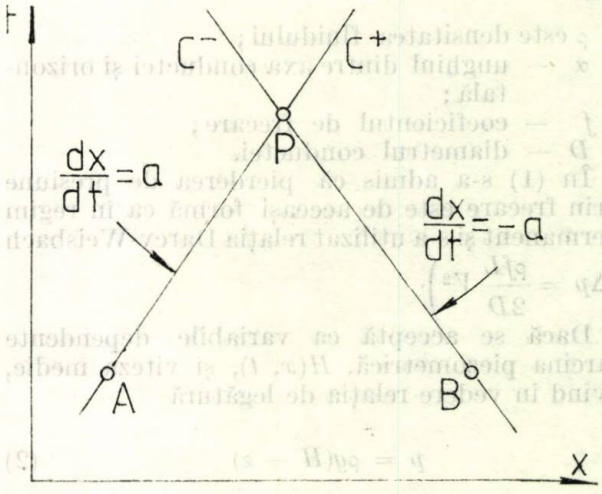


Fig. 1.

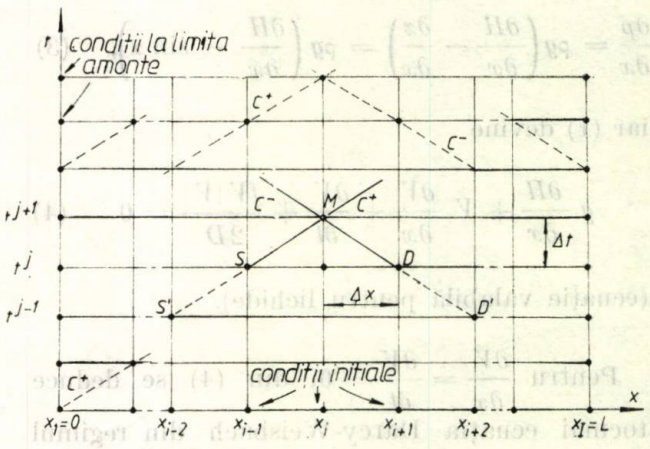


Fig. 2.

iar ecuațiile (17 a) și respectiv (18 a) sînt valabile doar în lungul lor.

Aceasta a sugerat procedeul numeric de rezolvare cunoscut ca „metoda caracteristicilor". Discretizînd lungimea L a conductei cu pasul spațial Δx și alegînd pasul temporal $\Delta t = \Delta x/a$, se obține o rețea de calcul în planul (x, t) de forma din figura 2, pentru care orice diagonală cu panta pozitivă respectă ecuația (17 b) — fiind deci o caracteristică C^+ — și orice diagonală cu panta negativă respectă ecuația (18 b) — fiind deci o caracteristică C^-.

Soluția în nodurile de rețea de la momentul t^{j+1} se află integrînd ecuațiile (17a) și (18a) în lungul caracteristicilor emanînd din nodu-

rile de rețea vecine de la t^j, unde aceasta se admite cunoscută. Astfel, înmulțind (17 a) cu $\frac{a}{g}dt$ și ținînd seama de (17 b), integrarea ei între S și M (vezi fig. 2) se scrie :

$$\int_{H_S}^{H_M} dH + \frac{a}{gA}\int_{Q_S}^{Q_M} dQ + \frac{f}{2gA^2D}\int_{x_S}^{x_M} Q|Q|dx = 0 \qquad (19)$$

din care, dacă se aproximează Q necunoscut în ultimul termen prin Q_S, rezultă

$$H_M - H_S + \frac{a}{gA}(Q_M - Q_S) + \frac{f\Delta x}{2gA^2D} Q_S|Q_S| = 0. \qquad (20)$$

În mod analog, din (18 a), integrat după (18 b) între D și M, se obține

$$H_M - H_D - \frac{a}{gA}(Q_M - Q_D) - \frac{f\Delta x}{2gA^2D} Q_D|Q_D| = 0. \qquad (21)$$

Ecuațiile (20) — (21) conțin necunoscutele H_M și Q_M, care se pot explicita în funcție de mărimile cunoscute H_S, Q_S, H_D și Q_D. Adoptînd sistemul de indici $(\,)_i^j$ pentru nodul de rețea (x_i, t^j), din (20) și (21) rezultă după unele calcule :

$$H_i^{j+1} = \frac{1}{2}(c_i^- + c_i^+) \quad (\equiv H_M) \qquad (22)$$

$$Q_i^{j+1} = \frac{1}{b}(c_i^- - H_i^{j+1}) = \frac{1}{b}(H_i^{j+1} - c_i^+) \quad (\equiv Q_M), \qquad (23)$$

unde :

$$c_i^- = H_{i-1}^j + bQ_{i-1}^j - rQ_{i-1}^j|Q_{i-1}^j|$$
$$c_i^+ = H_{i+1}^j - bQ_{i+1}^j + rQ_{i+1}^j|Q_{i+1}^j| \qquad (24)$$

$$b = \frac{a}{gA}; \quad r = \frac{f\Delta x}{2gA^2D}, \text{ iar } H_{i-1}^j \equiv H_S \text{ etc.}$$

Relațiile (22)—(23) se aplică succesiv, pentru toate nodurile spațiale $i = 2,3, \cdots, I-1$ ale momentului de timp t^{j+1}. La extremitatea amonte, $(i = 1)$, se utilizează caracteristica C^- pe care se integrează (18 a), împreună cu o condiție la limită de forma generală f_1 $(H_1, Q_1, t) = 0$, iar la extremitatea aval, $(i = I)$, se utilizează caracteristica C^+ pe care se integrează (17 a), împreună cu o condiție la limită de forma generală $f_I(H_I, Q_I, t) = 0$.

După determinarea soluției la t^{j+1}, valorile H_i^{j+1}, Q_i^{j+1}, $i = 1,2, \cdots, I$ devin condiții inițiale pentru calculul soluției la t^{j+2} etc.

La inițierea algoritmului, $(t = 0)$, se admit condițiile inițiale corespunzătoare regimului permanent de curgere anterior apariției perturbației ce provoacă starea de tranziție.

b) Forma algebrică a ecuațiilor regimului tranzitoriu

Cu prețul introducerii unei aproximații mai grosiere în termenul de frecare din (19), ecuațiile (17 a) și (18 a)se pot integra și între nodurile S' — M pe C^+, respectiv D' — M pe C^- (fig. 2), dînd relațiile

$$H_M = H_{S'} - b(Q_M - Q_{S'}) - r'Q_{S'}|Q_{S'}| \text{ pe } C^+ \qquad (25)$$
$$\text{și } H_M = H_{D'} + b(Q_M - Q_{D'}) + r'Q_{D'}|Q_{D'}| \text{ pe } C^-,$$

unde $r' = 2r$.

Dacă lungimea conductei se împarte în m segmente de calcul și se transcriu ecuațiile (25) astfel încît fiecare să acopere cele m segmente, ele iau forma

$$H_2^j = H_1^{j-m} - b(Q_2^j - Q_1^{j-m}) - RQ_1^{j-m}|Q_1^{j-m}| \qquad (26)$$
$$\text{și } H_1^j = H_2^{j-m} + b(Q_1^j - Q_2^{j-m}) + RQ_2^{j-m}|Q_2^{j-m}|$$

cu $R = mr$,

unde prin 1 și 2 s-au specificat extremitățile amonte și respectiv aval ale conductei, iar indicele j precizează momentul de timp $t = (j-m)\Delta t$ de la începutul regimului tranzitoriu analizat.

Fie rețeaua de calcul în planul (x,t) pentru o conductă cu $m = 4$ segmente Δx ca în figura 3 unde se consideră și $m - 1 = 4 - 1 = 3$ pași Δt înainte de începerea regimului tranzitoriu $(t=0)$.

Specificînd H_1^j, Q_1^j, H_2^j și Q_2^j, $j = 1, \ldots, 4$ la valorile din regimul staționar, este evident că prima relație (26) furnizează o ecuație algebrică între mărimile necunoscute din domeniul de interes H_2^5 și Q_2^5, iar cea de-a doua — o altă ecuație între mărimile necunoscute H_1^5 și Q_1^5, celelalte mărimi care intervin în ecuații fiind cunoscute. Alte două ecuații între aceste patru necunoscute se obțin din condițiile la limite, astfel încît ele se determină cu ușurință.

Calculele avansează în mod similar pentru $j = m + 2$, $m + 3, \ldots, J$, unde $J = t_{final}/\Delta t + m + 1$, iar t_{final} este durata de analiză a regimului nepermanent.

Avantajele utilizării formelor algebrice (26) — în locul metodei caracteristicilor — rezidă din următoarele:

1) Se pot aplica pe mai multe segmente Δx, fără a fi necesare calcule de regim tranzitoriu în secțiunile intermediare. La limită se lucrează doar cu secțiunile extreme ale conductei (ca în figura 3 și explicații).

2) În virtutea pct. 1), formele (26) sînt foarte eficiente pentru analize de regimuri tranzitorii în rețele de mari dimensiuni.

3) Folosindu-se pași Δt reduși, influența condițiilor la limite asupra soluției se resimte suficient de fidel.

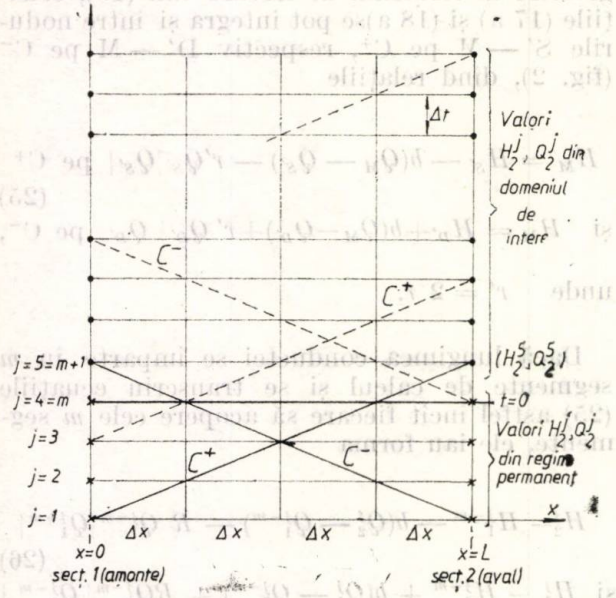


Fig. 3.

4) Posibilitatea rezolvării regresive în timp a acestor ecuații, le face convenabile pentru abordarea problemelor de comandă și reglaj.

Dezavantajul esențial este legat de faptul că — dacă formele (26) acoperă mai mult decît un segment de calcul — termenul de frecare implică o aproximație mai brutală decît cea admisă în metoda caracteristicilor.

c) Extinderi în cazul rețelelor de conducte

În aplicarea metodei la cazul curgerii nepermanente în rețele de conducte este necesar să se țină seama de o serie de aspecte suplimentare.

Astfel, pentru orice nod de rețea și orice moment de timp: 1) se admite că sarcinile piezometrice în secțiunile de calcul din vecinătatea joncțiunii sînt identice și 2) este respectată continuitatea debitelor, adică suma lor algebrică în joncțiune este nulă.

Se notează cu $f_{i,k}^j$ mărimea variabilei f în nodul i, la momentul $t = (j-M)\Delta t$ de la începutul regimului tranzitoriu analizat și pentru conducta k. Indicele i ia valorile 1 sau 2 pentru secțiunile amonte și respectiv aval ale conductei.

Prin M s-a notat $\max_{k=1,\ldots,K}(m_k)$, unde K — numărul de conducte din rețea. Atunci, pentru o conductă oarecare k, din (23) rezultă:

$$Q_{2,k}^j = d_{1,k}^j - \frac{1}{b_k} H_{2,k}^j$$

$$Q_{1,k}^j = d_{2,k}^j + \frac{1}{b_k} H_{1,k}^j \tag{27}$$

unde coeficienții d sînt cunoscuți și au expresiile

$$d_{i\,k}^j = Q_{i,k}^{j-m_k}\left[1 - \left(\frac{R}{b}\right)_k |Q_{i,k}^{j-m_k}|\right] \pm \frac{1}{b_k} H_{i,k}^{j-m_k}$$

cu $+$ pentru $i = 1$ și $-$ pentru $i = 2$.

Fie o joncțiune P ca în figura 4. Exprimînd debitele în joncțiune pe cele trei conducte cu (27), rezultă:

$$Q_{2,k}^j = d_{1,k}^j - \frac{1}{b_k} H_{2,k}^j;$$

$$Q_{1,k+1}^j = d_{2,k+1}^j + \frac{1}{b_{k+1}} H_{1,k+1}^j;$$

$$Q_{1,k+2}^j = d_{2,k+2}^j + \frac{1}{b_{k+2}} H_{1,k+2}^j \tag{28}$$

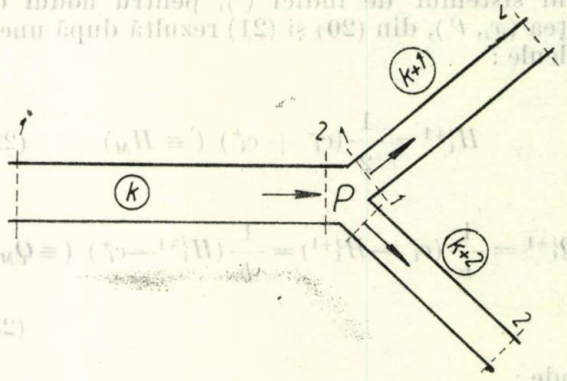


Fig. 4.

Dar deoarece sarcinile piezometrice în joncțiune sînt egale, adică

$$H_{2,k}^j = H_{1,k+1}^j = H_{1,k+2}^j = H_p^j, \tag{29}$$

iar continuitatea debitelor se scrie

$$Q_{2,k}^j - Q_{1,k+1} - Q_{1,k+2}^j = 0 \tag{30}$$

introducînd (28) și (29) în (30), rezultă sarcina în joncțiune sub forma

$$H_P^j = \frac{d_{1,k}^j - d_{2,k+1}^j - d_{2,k+2}^j}{\frac{1}{b_k} + \frac{1}{b_{k+1}} + \frac{1}{b_{k+2}}} \tag{31}$$

și apoi debitele pe conducte, folosind H_P^j în (28).

Evident că analiza se efectuează cu același pas Δt pentru toate conductele rețelei, deci trebuie ca toate raporturile $\frac{\Delta x_k}{a_k}$ să fie egale. Această cerință se realizează alegînd convenabil numărul de segmente de calcul, m_k, și admițînd o abatere limitată $\varepsilon_k (\leqslant 15\ \%)$ pentru viteza de propagare, în jurul valorii reale a_k, conform relației

$$\Delta t = \frac{L_k}{(1 \pm \varepsilon_k) a_k m_k} = \text{const, pentru } k = 1, \ldots, K \tag{32}$$

Existența unei vane pe o conductă de diametru constant, face necesară separarea în două conducte distincte (fig. 5) și utilizarea ecuației vanei sub forma:

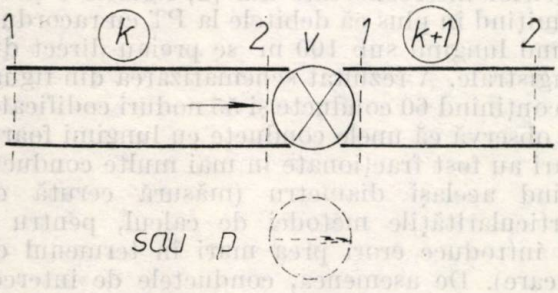


Fig. 5.

$$Q_v^j = Q_{2,k}^j = Q_{1,k+1}^j = \frac{Q_0 \tau}{\sqrt{h_0}} \sqrt{H_{2,k}^j - H_{1,k+1}^j}, \tag{33}$$

unde h_0 este pierderea de sarcină prin vană la regimul permanent de debit Q_0, iar τ — coeficientul adimensional de deschidere a vanei, cu variație în timp cunoscută.

Deoarece din (27) rezultă și

$$\begin{aligned} H_{2,k}^j &= b_k (d_{1,k}^j - Q_{j,k}^2) \\ H_{1,k}^j &= b_k (Q_{1,k}^j - d_{2,k}^j), \end{aligned} \tag{34}$$

folosind aceste relații în (33), se ajunge la o ecuație de gradul II în Q, cu soluția

$$Q_v^j = c_v (b_k + b_{k+1}) + \sqrt{c_v^2 (b_k + b_{k+1})^2 + c_v (b_k d_{1,k}^j + b_{k+1} d_{2,k+1}^j)} \tag{35}$$

unde $c_v = Q_0^2 \tau^2 / 2h_0$, iar sensul de curgere s-a admis ca în figură. Apoi, folosind Q_v^j în (34) se obțin sarcinile piezometrice în amonte și aval de vană.

Pornirea unei pompe centrifuge intercalată pe o conductă din rețea se tratează asemănător, admițînd că se cunoaște legea de creștere în timp a turației θ, adimensionalizată în raport cu turația de regim. Caracteristica pompei se poate exprima sub forma (fig. 5):

$$H_{1,k+1}^j - H_{2,k}^j = \theta^2 H_0 + \beta_1 \theta Q_p^j + \beta_2 (Q_p^j)^2, \tag{36}$$

unde H_0 este sarcina la debit nul, iar β_1 și β_2 sînt coeficienți cunoscuți. În exprimarea (36) s-au utilizat condițiile de analogie $\Delta H / \theta^2 = \text{const.}$ și $Q/\theta = \text{const.}$

Folosind relațiile (34) în (36), rezultă o ecuație patratică în Q, cu soluția:

$$Q_p^j = \frac{b_k + b_{k+1} - \beta_1 \theta}{2\beta_2} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{1 \beta_2 (H_0 \theta_2 + b_k d_{1,k}^j + b_{k+1} d_{2,k+1}^j}{(b_k + b_{k+1} + \beta_1 \theta)^2}} \right], \tag{37}$$

după care sarcinile piezometrice în amonte și aval de pompă se obțin cu (34).

Alte tipuri de condiții la limite (sarcină impusă, variația de debit cunoscută etc.) sînt ușor de introdus în analiză, împreună cu ecuația algebrică adecvată frontierei respective.

3. Unele detalii de programare

a) Descrierea geometriei rețelei

Dacă în analizele de regim permanent [1,2] pentru a descrie geometria rețelei s-a apelat la matricele de incidență și respectiv ale circuitelor naturale ale grafului asociat, în cazul simulării regimului nepermanent în rețele de mari dimensiuni este nevoie să se folosească procedee mai economicoase (avînd în vedere volumul însemnat de date ce trebuie memorate și prelucrate).

Schema de precizare a topologiei rețelei utilizată în lucrare este explicată în legătură cu exemplul din figura 6, care conține nodul de alimentare 1 cu sarcină piezometrică cunoscută, nodurile de rețea comune 2 și 4, nodul de consum 5 cu graficul de debit prelevat cunoscut și nodul 3 de unde se prelevează debit printr-o vană, la presiune exterioară egală cu cea atmosferică.

Geometria rețelei se precizează prin doi vectori referitori la conducte — conținînd numerele nodurilor amonte și respectiv aval ale acestora — și o listă de numere întregi pentru fiecare nod. Lista cuprinde: numărul nodului, numărul de conducte concurente în nod și numerele acestor conducte. Afectînd primele două date din listă de o combinație de semne

+ și — se poate codifica tipul nodului respectiv. S-a ales următoarea codificare: 1) (+, +) — nod obișnuit de rețea, eventual cu debit prelevat constant în timp; 2) (+, —) — nod cu q/(*t*) precizat; 3) (—, +) — nod cu

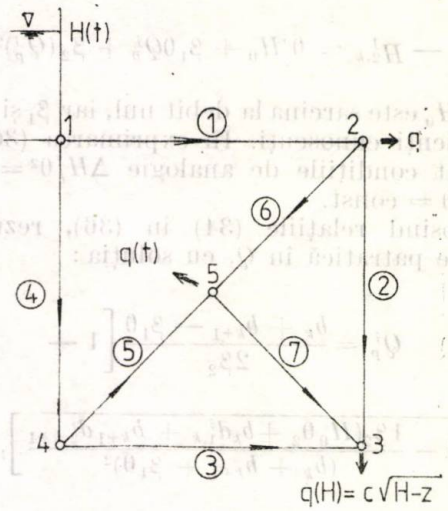


Fig. 6.

H(*t*) precizat și 4) (—, —) — nod cu *q*(*H*) cunoscut. În plus, numerele conductelor incidente în nod se afectează de semnul + pentru afluență în nod și de — pentru efluență din nod.

În cazul rețelei din figura 6, listele concatenate ale nodurilor ar fi: — 1,2, —1, — 4; 2,3,1, —2, —6; —3, —3,2,3,7; 4,3, —3,4, —5; 5, —3,5, 6, —7, iar vectorii referitori la conducte: — pentru nodurile amonte: 1,2,4,1,4,2,5; pentru nodurile aval: 2,3,3,4,5,5,3. Aceste informații sînt suficiente pentru a descrie complet geometria rețelei.

b) Matrice de calcul principale

Programul de calcul operează cu două matrice conținînd debitele în amontele și respectiv avalul fiecărei conducte, avînd dimensiunile $K \times (M + 1)$ și o matrice conținînd sarcinile în noduri, de dimensiuni $N \times (M + 1)$, unde N este numărul de noduri din rețea, K — numărul de conducte, iar M — numărul maxim, pe rețea, de segmente de calcul pe o conductă.

Valorile determinate la timpul curent de calcul se stochează în coloanele $M + 1$ ale acestor matrice. După afișarea lor în nodurile de interes, la fiecare moment de timp de calcul, matricele respective se actualizează, eliberîndu-se ultima coloană pentru a putea prelua rezultatele la momentul următor și așa mai departe.

Aspectele precizate mai sus permit abordarea eficientă a problemei, chiar pentru rețele de dimensiuni foarte mari.

4. Aplicații la rețele complexe de termoficare

Metoda de calcul descrisă în cap. 2, par. b) și c) a fost aplicată pentru studiul regimurilor tranzitorii apărute în rețele complexe de termoficare, ca urmare a diferite manevre posibile în exploatare.

Deoarece metoda folosește elemente geometrice concrete ale conductelor (*L*, *D* etc.) nu a mai fost posibil să se admită — ca în cazul analizelor de regim permanent din [1,2] — conducte echivalente punctelor termice și consumatorilor racordați la ele și deci nu s-a mai putut considera și circuitul de retur. De altfel, conductivitatea hidraulică redusă a acestor conducte echivalente atenuează foarte mult influența regimului tranzitoriu apărut pe circuitul de tur asupra regimului hidraulic de pe circuitul de retur. Ca urmare, în lucrarea de față se consideră doar circuitul de tur al rețelelor interconectate din [2, figurile 1 și 6], admițînd în plus că debitele la PT cu racorduri avînd lungimi sub 100 m se preiau direct din magistrale. A rezultat schematizarea din figura 7, conținînd 60 conducte și 55 noduri codificate. Se observă că unele conducte cu lungimi foarte mari au fost fracționate în mai multe conducte avînd același diametru (măsură cerută de particularitățile metodei de calcul, pentru a nu introduce erori prea mari în termenul de frecare). De asemenea, conductele de interconexiune pe care sînt plasate vanele de separație—delimitate de nodurile 56—57 și 58—59— se admit formate din cîte două conducte de lungimi egale.

Datele de intrare (debite de calcul la PT, lungimi, diametre etc.) se iau identice cu cele din [2]. Pentru vane se admite o pierdere locală de sarcină de 0,2 mH_2O, la debitul de regim permanent nominal în funcționarea interconectată de circa 297 t/h, realizat cu sarcina impusă de 74,14 mH_2O la CET II.

Din analizele de regim staționar întreprinse în [2] pentru funcționarea separată a celor două rețele, a rezultat că:

— pentru a se asigura sarcina de 60 mH_2O la ultimul consumator din sistemul I (nodul 14), sarcina la CET I trebuie să fie 72,06 mH_2O, iar în zona de interconectare (nodurile 4 și 13) se realizează 71,99 și respectiv 61,46 mH_2O;

— pentru a asigura 60 mH_2O la nodul 57, sarcina la CET II trebuie să fie 74,14 mH_2O, iar în zona de interconectare (nodul 53) se realizează 72,73 mH_2O.

Este evident că la interconectare, diferențele mari de sarcină dintre nodurile ce se pun în legătură vor crea regimuri tranzitorii în sistem, cu alura și amplitudinile determinate de legea de manevră a vanelor.

Analiza de regim staționar pe rețeaua interconectată a arătat că nu există un transfer însemnat de debite între sisteme (doar circa

100 t/h de la reţeaua II către I), dar se schimbă complet circulaţia în sistemul I, PT din nodurile 11, 12 şi 14 fiind alimentate de sursa I prin conductele prevăzute cu vane, iar sarcina în nodul 13 fiind acum 72,35 mH_2O (la CET I se impune debitul nominal de 645,9 t/h şi rezultă sarcina 72,86 mH_2O).

a) Simulări de interconectare

1) S-a considerat că, pornind din situaţia de regim nominal corespunzătoare funcţionării separate, se realizează interconexiunea prin deschiderea vanei 1, în decurs de 3 s, cu variaţia lineară a coeficientului τ în acest interval.

În figura 8 este reprezentată variaţia sarcinii pe pacursul primelor 30 s de la iniţierea manevrei în nodul 14 (ultimul consumator din sistemul I) şi nodurile 2 şi 17 din apropierea surselor. Se observă oscilaţiile puternice ale sarcinii în nodul 14, ca şi ridicarea generală a nivelului sarcinii în sistemul I, necesară pentru a asigura debitele de calcul la PT. Influenţa conectării asupra nodului 17 este relativ redusă, acesta fiind plasat la distanţă suficient de mare de zona perturbaţiei.

În figura 9 este reprezentată variaţia debitului în nodul 57 (aval de vana 1) şi nodul 12. În primele 13 s apare o curgere din sistemul II către I, după care sensul ei se inversează.

2) S-a presupus că ambele vane se deschid simultan, în decurs de 3 s. Este de aşteptat ca, după stingerea oscilaţiilor, să se ajungă la soluţia din regim permanent prezentată în [2]. Într-adevăr, din figura 10 se observă că valoarea sarcinii în nodul 2 tinde să se stabilizeze în jur de 73 mH_2O, faţă de 72,86 mH_2O, cît s-a găsit în analiza de regim permanent la sursa I. Această constatare validează reciproc modelele matematice şi programele de calcul descrise aici şi în [1, 2].

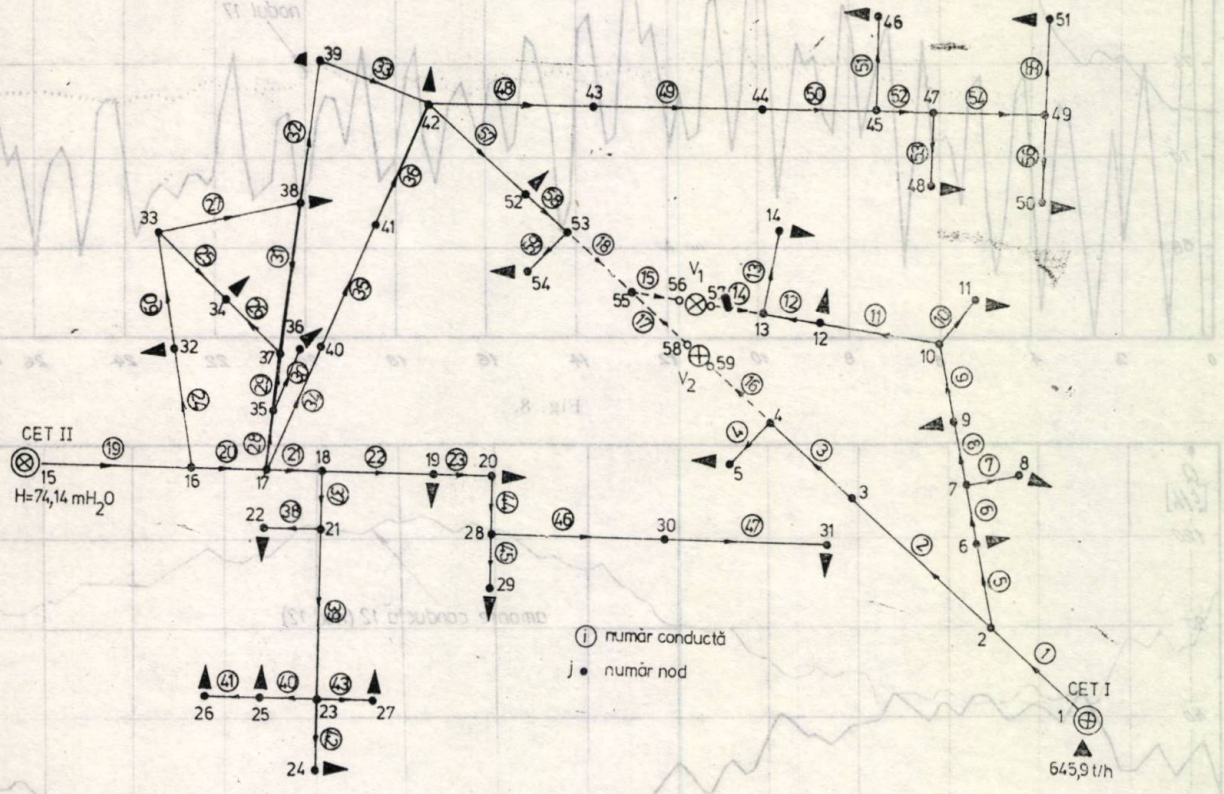


Fig. 7.

Pe aceeaşi figură sînt marcate cu x valorile sarcinii în nodul 14, obţinute pentru manevre de deschidere simultană durînd 10 s. Aşa cum era de aşteptat, amplitudinea oscilaţiilor este mai redusă, ceea ce arată din nou că modelul simulează corect fenomenul fizic.

În figura 11 sînt reprezentate variaţiile debitelor în nodurile 57 şi 12, pentru cazul deschiderii simultane în decurs de 10 s. Se constată că acestea tind spre soluţia din regim permanent.

3) În acest exemplu s-au presupus manevre iraţionale (accidentale) de vane. Pentru legile de manevră ilustrate în figura 12 s-au obţinut variaţiile desenate ale sarcinii piezometrice în nodurile 2, 12 şi 14. S-a ajuns practic la situaţia că în anumite noduri din reţea sarcina să ia

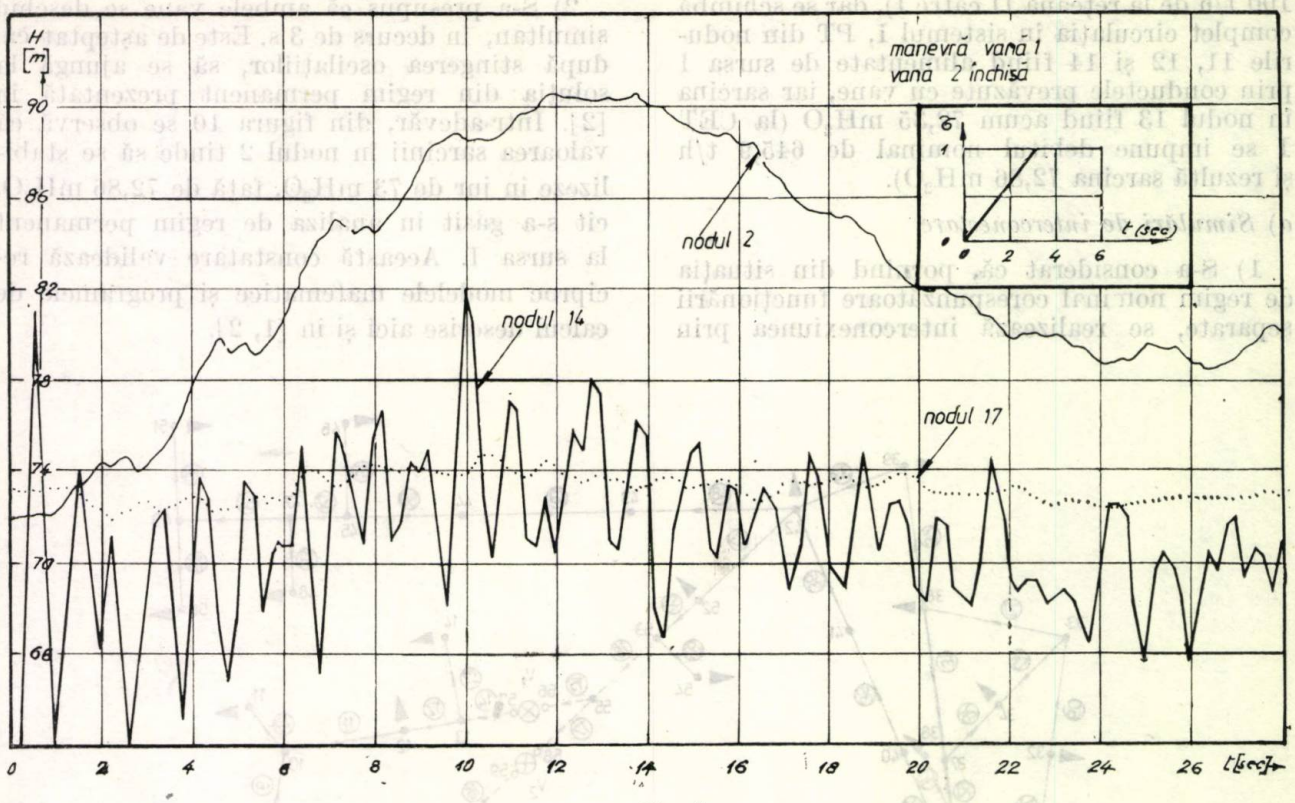


Fig. 8.

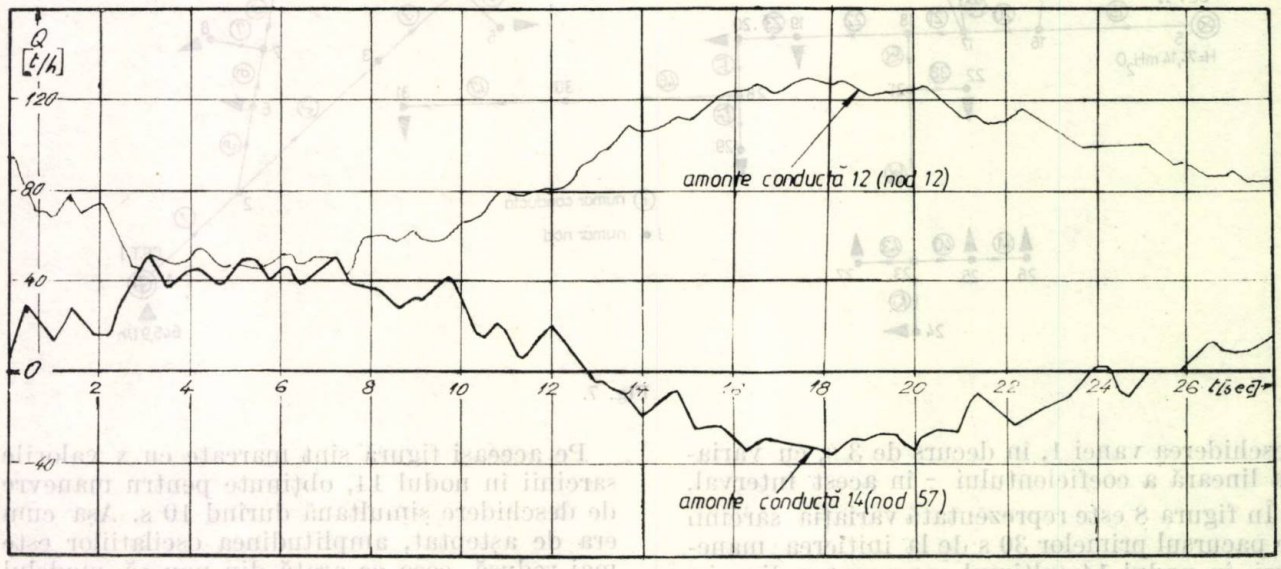


Fig. 9.

valori negative. Acest lucru nu este posibil în realitate, deoarece de la o anumită valoare în jos apare separarea coloanei de lichid prin degajarea gazelor conținute, iar din momentul respectiv ecuațiile matematice care descriu fenomenele se schimbă și prezentul cadru de analiză devine inaplicabil. Totuși, cazul a fost inclus tocmai pentru a exemplifica gravitatea și amploarea consecințelor ce pot decurge ca urmare a unor manevre defectuoase.

b) Simulări de alte regimuri tranzitorii

Pentru a ilustra posibilitățile de aplicare a modelului la studiul altor probleme de regim tranzitoriu decît cele apărute la interconectarea unor rețele, s-a simulat deconectarea unui grup de consumatori prin reducerea lineară a debitelor prelevate de PT din nodurile 50 și 51, de la valorile de regim nominal (108,9 t/h și respectiv 66,2 t/h) la zero, în decurs de 8 și respectiv 5 s, admițînd vanele de separație dintre sisteme închise.

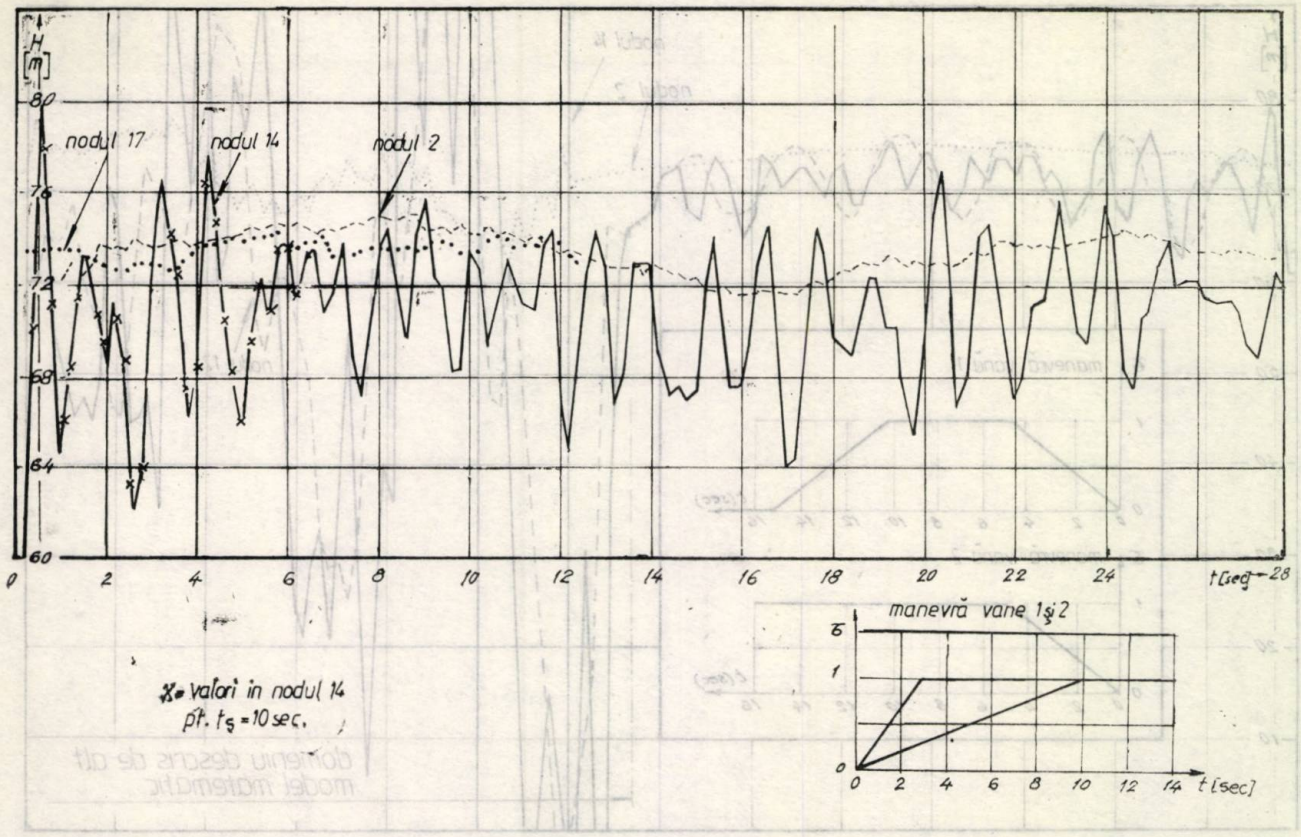

H [m]
nodul 17
nodul 14
nodul 2
t [sec]
manevră vane 1 și 2
t [sec]
x = valori in nodul 14
pt. t_s = 10 sec.

Fig. 10.

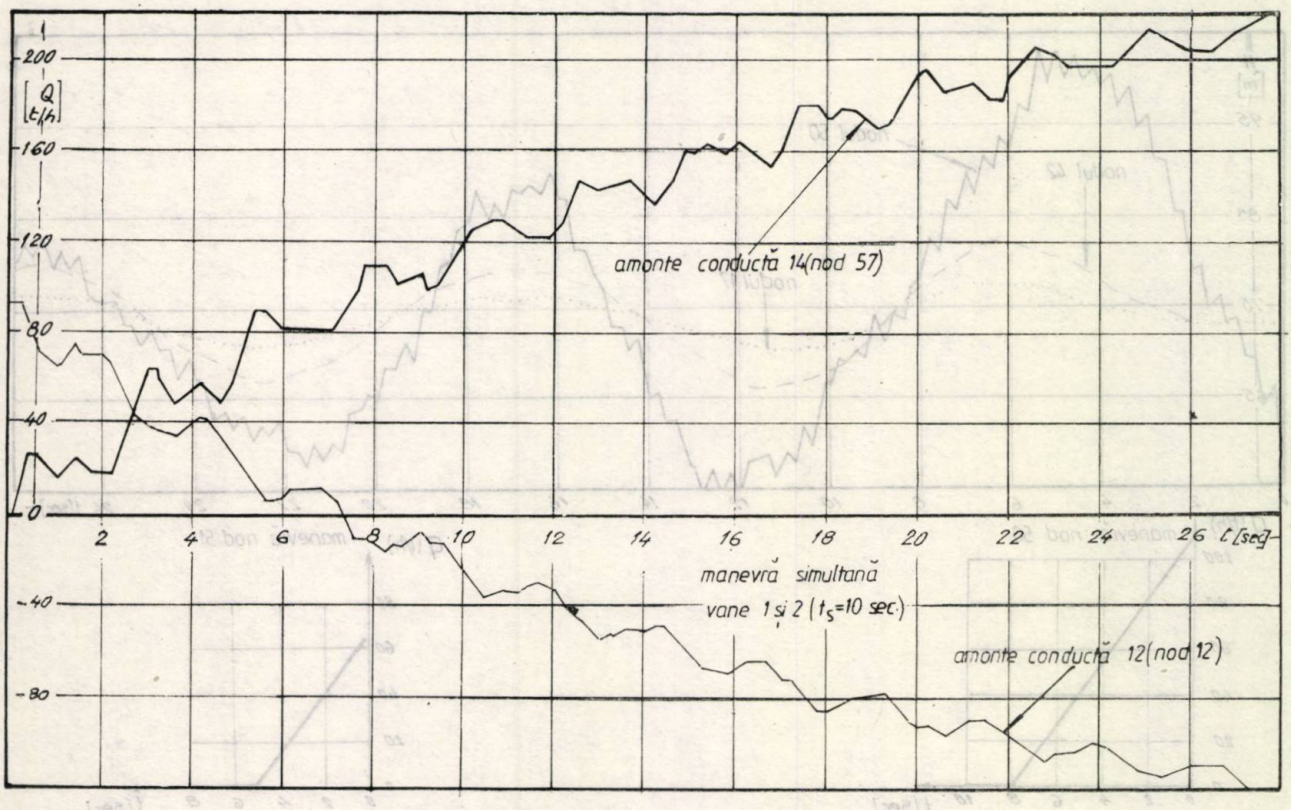

Q [t/h]
amonte conductă 14 (nod 57)
manevră simultană
vane 1 și 2 (t_s=10 sec)
amonte conductă 12 (nod 12)
t [sec]

Fig. 11.

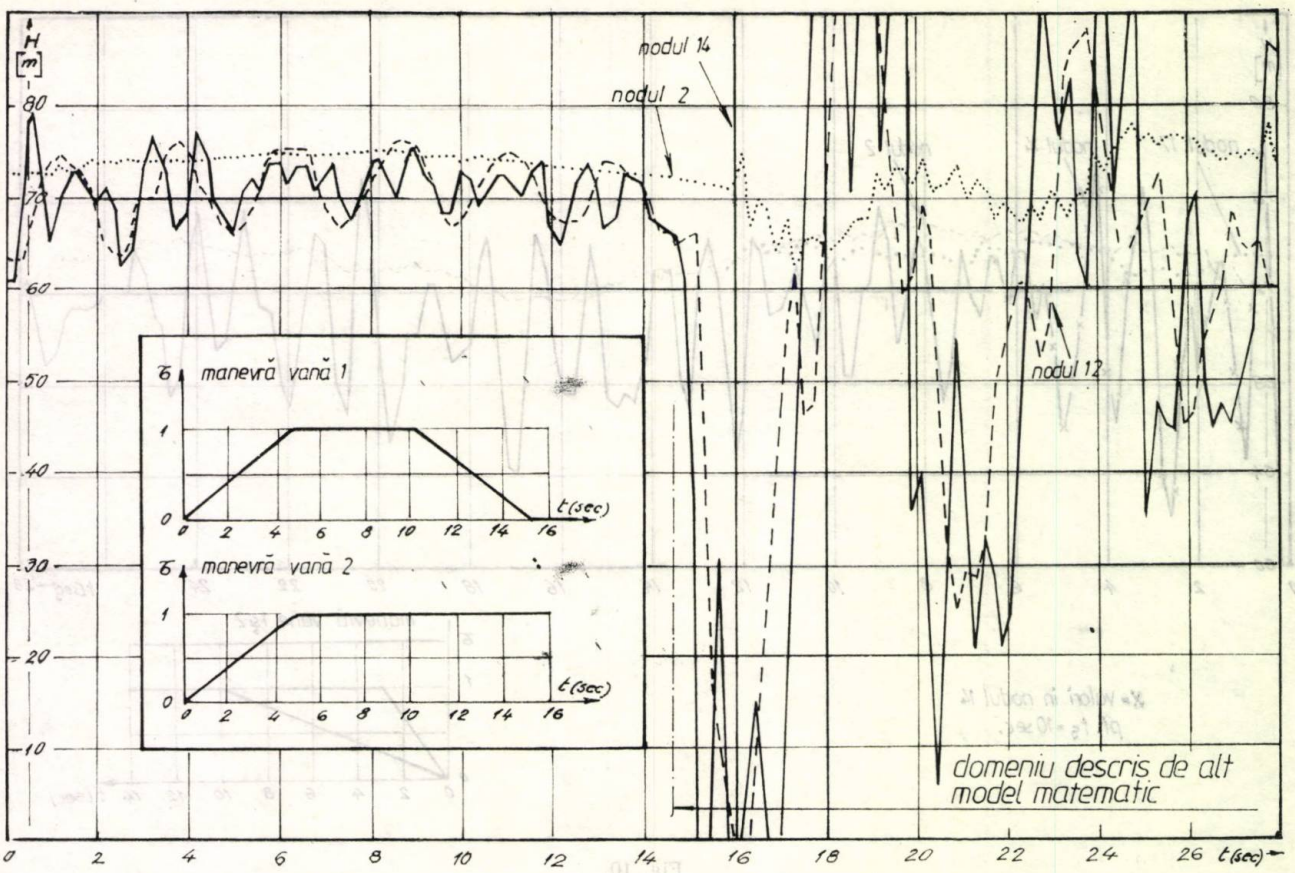

H [m]
nodul 14
nodul 2
nodul 12
manevră vană 1
manevră vană 2
t(sec)
domeniu descris de alt model matematic

Fig. 12.

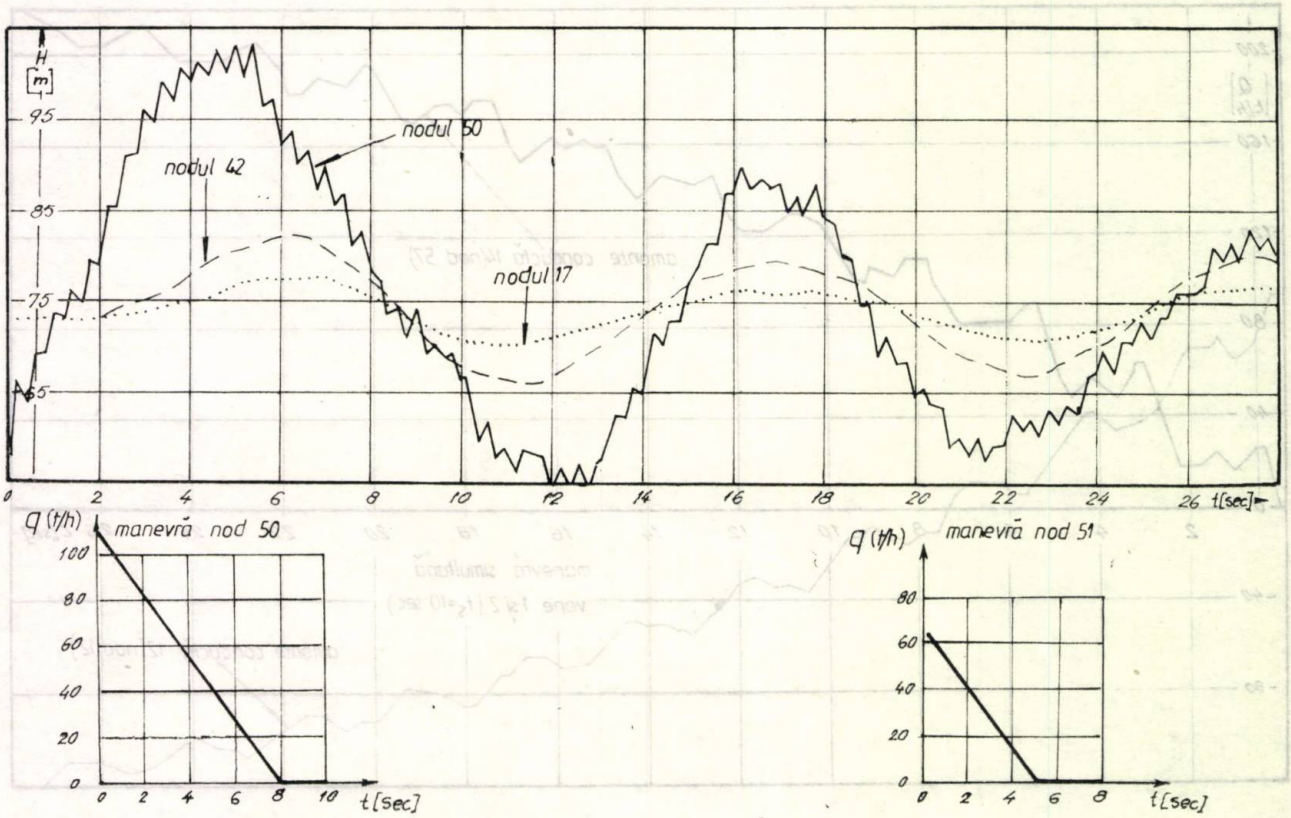

H [m]
nodul 50
nodul 42
nodul 17
t[sec]
q (t/h)
manevră nod 50
manevră nod 51

Fig. 13.

În figura 13 sînt reprezentate variațiile sarcinii piezometrice în nodurile 50, 42 și 17. Se observă că amplitudinea oscilațiilor se reduce odată cu mărirea distanței față de sursa de perturbație și se amortizează în timp. Suprasarcina maximă în nodul 50, la manevrele considerate, este de circa 43 mH_2O față de situația de regim permanent.

Concluzii

Aplicațiile prezentate demonstrează cîteva posibilități de utilizare a metodei de calcul descrise la studiul regimurilor tranzitorii ce pot să apară, din diverse motive, în rețelele complexe de termoficare. Pe această bază, devine accesibilă analiza corespunzătoare a fenomenelor, atît în faza de proiectare, cît și pentru stabilirea regulilor adecvate de exploatare a sistemelor respective.

Materialul din această lucrare întregește modelarea matematică elaborată în [1,2] pentru cazul regimurilor hidraulice permanente în sistemele de alimentare centralizată cu căldură folosind apă caldă. Prin alegerea aplicațiilor numerice în maniera prezentată, modelele matematice se validează reciproc și conferă certitudinea că pot fi adoptate fără rețineri în practica uzuală din domeniu.

Bibliografie

[1] Popa, R., Leca, A., Niculescu, N., Uță, I. *Model matematic pentru simularea regimurilor hidraulice de funcționare a sistemelor interconectate de termoficare cu apă caldă.* În: Energetica, vol. 36, nr. 4—5, 1989, p. 220—227.

[2] Niculescu, N., Uță, I., Leca, A., Popa, R. *Aplicații ale modelului matematic pentru simularea regimurilor hidraulice de funcționare a sistemelor interconectate de termoficare apă caldă.* În: Energetica, vol. 36, nr. 6 , 1989, p. 270—278.

[3] Streeter, V. L., Lai, C. *Water hammer analysis including fluid friction.* În: ASCE, J. Hydr. Div., vol. 88, no. HY3, May, 1962.

[4] Streeter, V. L. *Valve stroking for complex piping systems,* În: ASCE, J. Hydr. Div., vol. 93, no. HY3, May, 1967.

[5] Chaudhry, M. H. *Resonance in pressurized piping systems.* În: ASCE, J. Hydr. Div., vol. 96, no. HY9, Sept., 1970.

[6] Wiggert, D. C., Sundquist, M. J. *Fixed-grid characteristics fgr pipeline transients.* În: ASCE, J. Hydr. Div., vol. 103, 1977.

[7] Wylie, E. B., Streeter, V. L. *Fluid tansients.* In: FEB Press, Ann Arbor, Michigan, U.S.A., 1983.

(Primit la 20 decembrie 1988, acceptat la 15 februarie 1989)

Utilizarea optimă a unor recuperatoare de căldură din gaze de ardere

Conf. dr. ing. VASILE CALUIANU, conf. dr. ing. NICOLAE ANTONESCU, as. ing. GHEORGHE MIHALAȘCU*

Descriptori: recuperatoare de căldură, gaze de ardere

CZ : 662.613.5 : 66.012

În lucrare se prezintă rezultatele unui studiu amplu privind utilizarea optimă a unor recuperatoare de căldură gaze de ardere-apă și gaze de arder-abur.

Studiul a fost concretizat într-un nomenclator care pune la dispoziția proiectanților și celor din exploatare nomograme utile pentru fiecare recuperator în parte.

The results obtained from a wide study regarding the optimal use of flue gases-water and flue gasess-steam heat recuperators are presented.

The study was materialized in a classified list which provides for the design experts and operation personnel useful homograms for every recuperator.

Introducere

Recuperarea căldurii din gazele de ardere evacuate din diverse procese tehnologice, cu temperaturi ridicate se impune în continuare ca una din cele mai eficiente metode de reducere a consumurilor de combustibil și de energie.

Au fost analizate din punct de vedere termic, hidraulic și tehnico-economic peste 50 de cazane recuperatoare în vederea stabilirii posibilității utilizării lor și la alți parametri funcționali decît cei pentru care au fost proiectate. S-au putut stabili astfel criterii economice de funcționare care au permis alegerea gamei de tipodimensiuni posibil de a fi fabricate în serie.

Pe baza studiului efectuat s-a întocmit un nomenclator în care sînt prezentate cazanele recuperatoare propuse pentru tipizare și caracteristicile lor funcționale, sub formă de nomograme.

1. Calculul termic, hidraulic și tehnico-economic al recuperatoarelor de căldură

Majoritatea recuperatoarelor de căldură din gazele de ardere folosite în scopuri energetice, pentru prepararea apei calde, apei fierbinți și producerea de abur saturat (treapta a II-a de recuperare) sînt de tip acvatubular, cu serpentine așezate în linie sau decalat și de tip ignitubular, cu unul, două sau trei drumuri pentru gazele de ardere, cu sau fără șicane pe circuitul apei.

În figura 1 se prezintă, ca exemplu, două cazane recuperatoare.

Pornind de la forma constructivă a recuperatoarelor au fost întocmite programe de calcul termic, hidraulic și tehnico-economic

* Conf. dr. ing. Vasile Caluianu, conf. dr. ing. Nicolae Antonescu, as. ing. Gheorghe Mihalașcu — Institutul de Construcții, București.

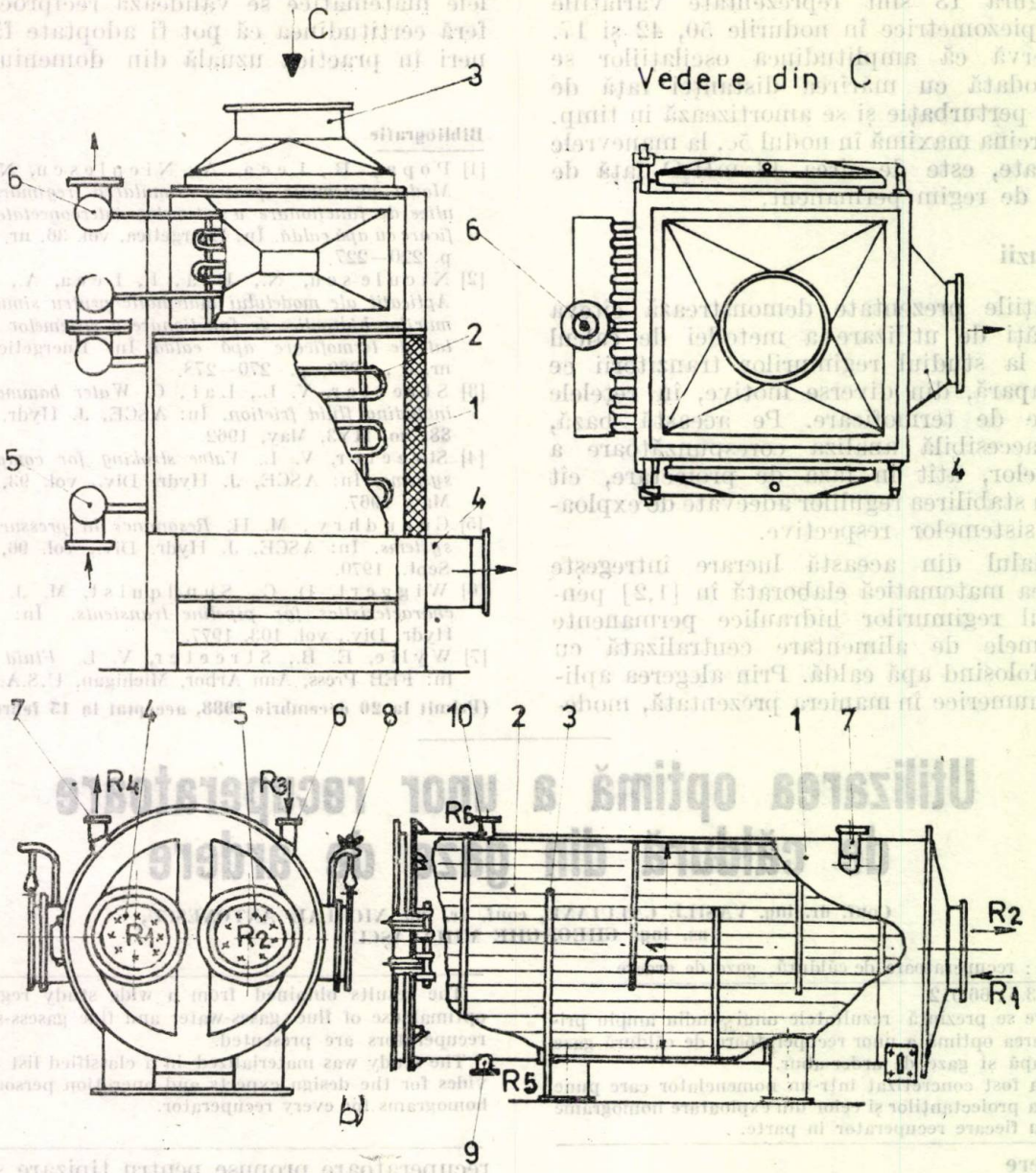


Fig. 1. Cazane recuperatoare proiectate de I.P.I.U.: a — cazan acvatubular: 1 — corp cazan; 2 — serpentine; 3 — racord intrare gaze; 4 — racord ieşire gaze; 5 — racord intrare apă; 6 — racord ieşire apă; b — cazan ignitubular: 1 — corpul recuperatorului; 2 — fascicol de ţevi; 3 — pereţi transversali (şicane); 4 — racord intrare gaze (R_1); 5 — racord ieşire gaze (R_2); 6 — racord intrare apă (R_3); 7 — racord ieşire apă (R_4); 8 — gură de vizitare; 9 — racord golire (R_5); 10 — racord aerisire (R_6).

care au permis variaţia datelor iniţiale de calcul, în domenii foarte largi. Au fost impuse ca mărimi variabile temperatura gazelor de ardere la intrare în aparat (t_{g_1}) între 200 şi 600°C şi viteza gazelor de ardere (W_g) între 3 şi 15 m/s.

Calculul termic a pornit de la valori aproximative ale coeficientului global de transfer de căldură şi ale temperaturii gazelor de ardere la ieşire din recuperator.

După iteraţii repetate se ajunge la valori corecte pentru care se face calculul termic definitiv, calculul hidraulic şi tehnico-economic.

În calculul de verificare al unui recuperator (gaze de ardere-apă, luat ca exemplu) se consideră cunoscute temperatura gazelor de arde re la intrare în recuperator, debitul gazelor de ardere şi temperaturile de intrare şi ieşire ale apei.

Determinarea temperaturii gazelor de ardere la ieşire din recuperator se face utilizînd ecuaţiile de bilanţ termic puse sub forma:

$$t_{g_i} - t_{g_e} = \frac{D_a c_a}{\eta D_g c_{pg}} (t_{a_e} - t_{a_i}), \qquad (1)$$

unde :

t_{g_i} și t_{g_e} sînt temperaturile gazelor de ardere la intrare și ieșire ;
t_{a_i} și t_{a_e} — temperaturile respective ale apei ;
D_g și D_a — debitele de gaze de ardere și de apă ;
c_{pg} și c_a — căldurile specifice respective ;
η — randamentul recuperatorului.

Ecuația suplimentară necesară determinării debitului de căldură produs de recuperator rezultă din utilizarea ecuației de transfer de căldură, unde pentru coeficientul global de transfer de căldură k' se ia o valoare medie probabilă, urmînd a fi stabilită exact în calculele finale :

$$Q = k'F\varepsilon_{\Delta t}\frac{(t_{g_i} - t_{g_e}) - (t_{a_e} - t_{a_i})}{\ln\dfrac{t_{g_i} - t_{a_e}}{t_{g_e} - t_{a_i}}}, \quad (2)$$

unde :

F este suprafața de schimb de căldură ;
$\varepsilon_{\Delta t}$ — corecția pentru diferența medie de temperatură care ține seama de scăldarea în curent încrucișat sau mixt.

În prima iterație se calculează temperatura gazelor de ardere la ieșire, cu relația :

$$t_{g_e} = t_{a_i} + (t_{g_i} - t_{a_e})e^{-k'F\varepsilon_{\Delta t}\cdot\frac{1}{\eta D_g c_{pg}}}, \quad (3)$$

urmează o primă valoare pentru debitul de apă produs de recuperator :

$$D_a = \frac{\eta D_g c_{pg}(t_{g_i} - t_{g_e})}{c_a(t_{a_e} - t_{a_i})} \quad (4)$$

și recalcularea temperaturii gazelor de ardere la ieșire cu relația exactă :

$$t_{g_e} = t_{a_i} + (t_{g_i} - t_{a_e})e^{-k'F\varepsilon_{\Delta t}\cdot\left(\frac{1}{\eta D_g c_{pg}} - \frac{1}{D_a c_a}\right)} \quad (5)$$

Se reiau ecuațiile (4) și (5) în iterații repetate pînă cînd diferența între valorile succesive scade sub 1%. În final se calculează debitul de căldură produs de recuperator, cu relația (2).

Urmează un calcul exact, după metodologia clasică de calcul al unei suprafețe convective de cazan, calcul prin care se determină coeficientul global de schimb de căldură k :

$$k = \frac{1}{\left(\dfrac{1}{\alpha_{g_c} + \alpha_{g_r}}\right) + \varepsilon_m + \dfrac{1}{\alpha_a}} \quad (6)$$

unde :

α_{g_c}, α_{g_r} și α_a sînt coeficienți de schimb de căldură prin convecție de la gazele de ardere, prin radiație de la gazele de ardere și prin convecție la apă ;
ε_m — coeficientul de rezistență termică al murdăririi țevilor.

Menționăm că la majoritatea cazanelor recuperatoare ignitubulare, datorită vitezelor mici de circulație a apei, coeficientul de rezistență termică a apei, $1/\alpha_a$, nu poate fi neglijat, avînd ordin de mărime similar cu ceilalți termeni care definesc schimbul global de căldură.

Cu acest coeficient global de schimb de căldură k se recalculează temperatura gazelor de ardere de evacuare, cu valoarea mai exactă :

$$(t_{g_e})_{fin} = t_{a_i} + (t_{g_i} - t_{a_e})e^{-kF\varepsilon_{\Delta t}\left(\frac{1}{\eta D_g c_{pg}} - \frac{1}{D_a c_a}\right)} \quad (7)$$

și debitul de apă final $(D_a)_{fin}$ după relația (4).

Calculul se consideră încheiat dacă eroarea relativă ε de determinare a intervalului de răcire a gazelor de ardere este sub 5%.

$$\varepsilon = \left|\frac{t_{g_i} - t_{g_e}}{t_{g_i} - (t_{g_e})_{fin}} - 1\right| \times 100 \leqslant 5\%. \quad (8)$$

Dacă nu este îndeplinită condiția de eroare se reia calculul cu inițializarea $t_{g_e} = (t_{g_e})_{fin}$ și $D_a = (D_a)_{fin}$, obținîndu-se o nouă iterație, pînă cînd se verifică relația (8).

Schema logică de calcul termic este dată în figura 2.

În mod analog, pornind de la forma constructivă s-au calculat pierderile de sarcină pentru diverse debite de agenți termici, cheltuieli de investiție și exploatare și în funcție de debitul de căldură recuperat s-a determinat numărul anilor de amortizare.

Rezultatele obținute pe calculator au permis trasarea curbelor care dau variația principalelor mărimi funcționale și economice în funcție de temperatura gazelor de ardere la intrare și viteza medie a acestora.

În figura 3 se prezintă, ca exemplu, caracteristicile funcționale și economice pentru cazanul acvatubular CRac 2,5 proiectat de ICSITEE București. În diagrame se prezintă variația debitului de căldură recuperat (Q), a debitului gazelor de ardere (D_g), a temperaturii gazelor de ardere la ieșire din aparat (t_{g_e}) și numărul anilor de amortizare (n), în funcție de variabilele t_{g_j} și W_g.

Stabilirea domeniului optim de funcționare ia în considerație caracteristicile funcți-

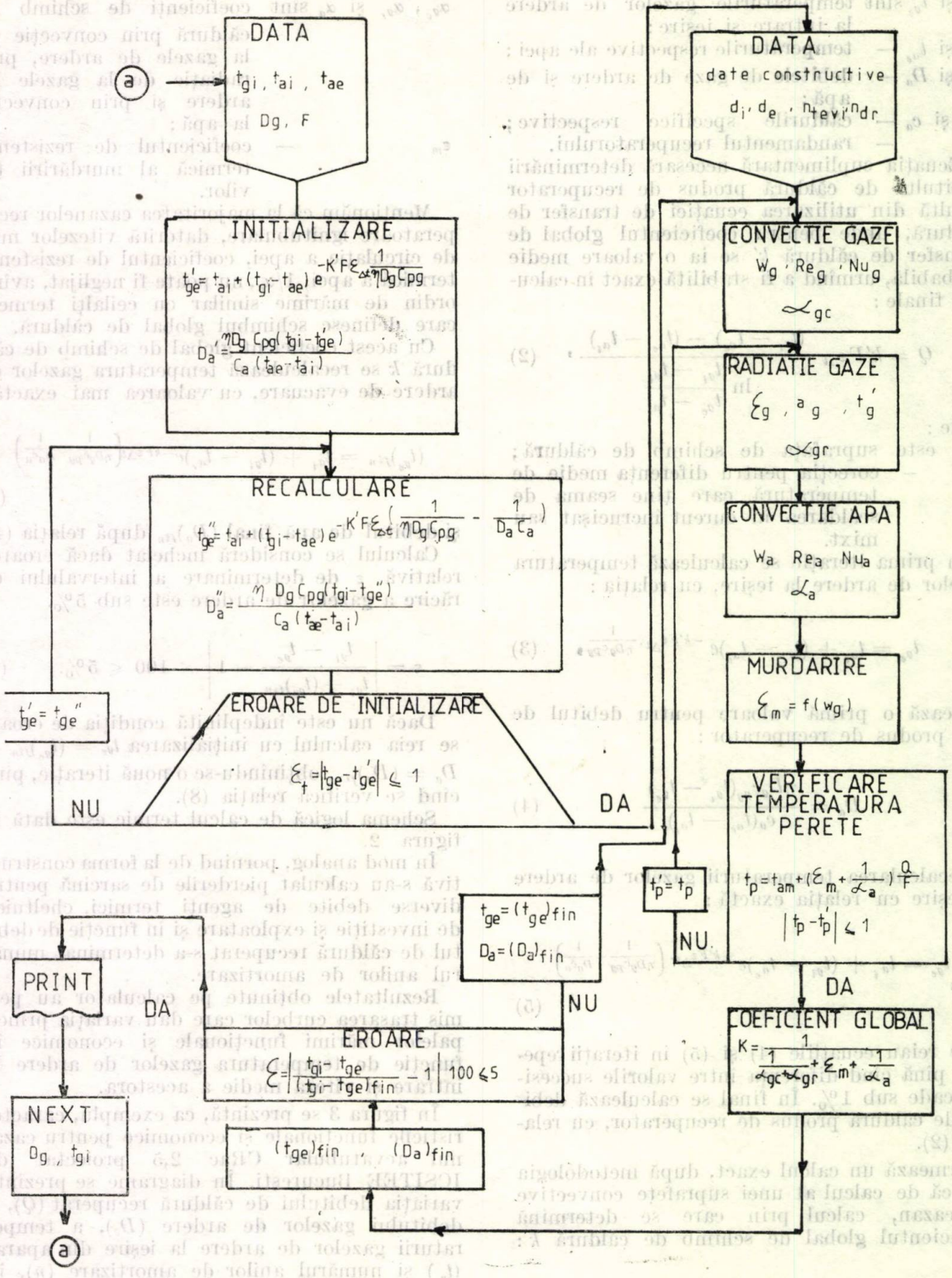


Fig. 2. Schema logică de calcul termic.

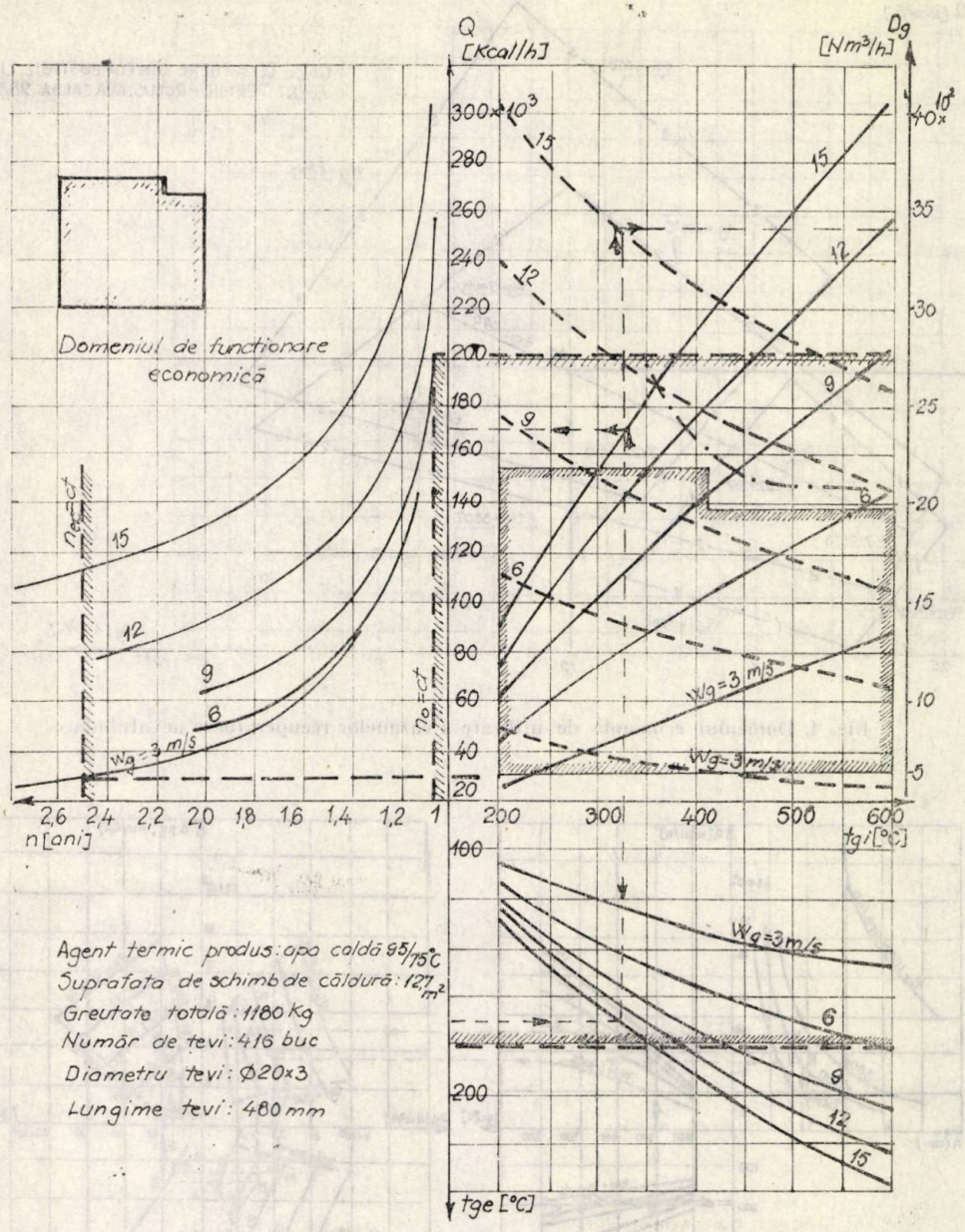


Fig. 3. Caracteristici funcționale și economice pentru cazanul CRac 2,5. Proiect ICSITEE.

onal-tehnologice și economice, precum și interdependența dintre ele.

Aspectul economic se referă la durata de amortizare a investiției (2,5—3,85 ani pentru astfel de aparate). Valorile prea mici ale lui „n" sînt limitate la o asimptotă verticală (n_0 = ct.) care corespunde aproximativ unei viteze optime $W_g = 9$ m/s și lui $(t_{gi})_{max}$. Se delimitează astfel domeniul economic cuprins între dreptele verticale n_{ec} = ct. și n_0 = ct.

Aspectul funcțional tehnologic constă în limitarea, inferior și superior, a temperaturii gazelor de ardere la ieșirea din recuperator. Limitarea inferioară este necesară pentru a împiedica condensarea vaporilor pe pereții țevilor, iar limitarea superioară este necesară pentru ca recuperatorul să fie eficient (dacă nu răcește suficient gazele de ardere, o mare parte din căldura recuperabilă se pierde). Au fost admise valori $(t_{ge})_{max}$ cuprinse între 150 și 180°C. S-a delimitat astfel domeniul economic din figura 3 care a fost transpus grafic, pentru grupe de cazane recuperatoare similare, în diagramele din figura 4. Pentru cazanele care s-au dovedit a fi economice au fost trasate nomograme mult mai ample, ca cele din figura 5 în care sînt trasate și variațiile debitului de apă (sau abur) produs, ale pierderilor de sarcină pe circuitul gazelor și al apei etc.

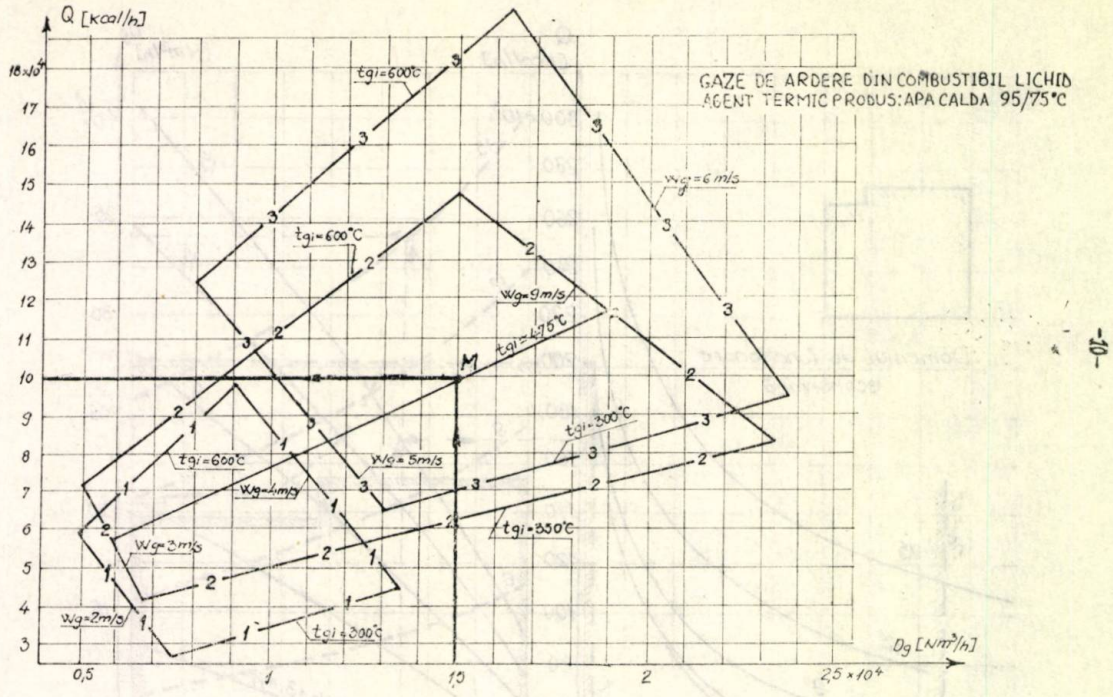


Fig. 4. Domeniul economic de utilizare a cazanelor recuperatoare acvatubulare.

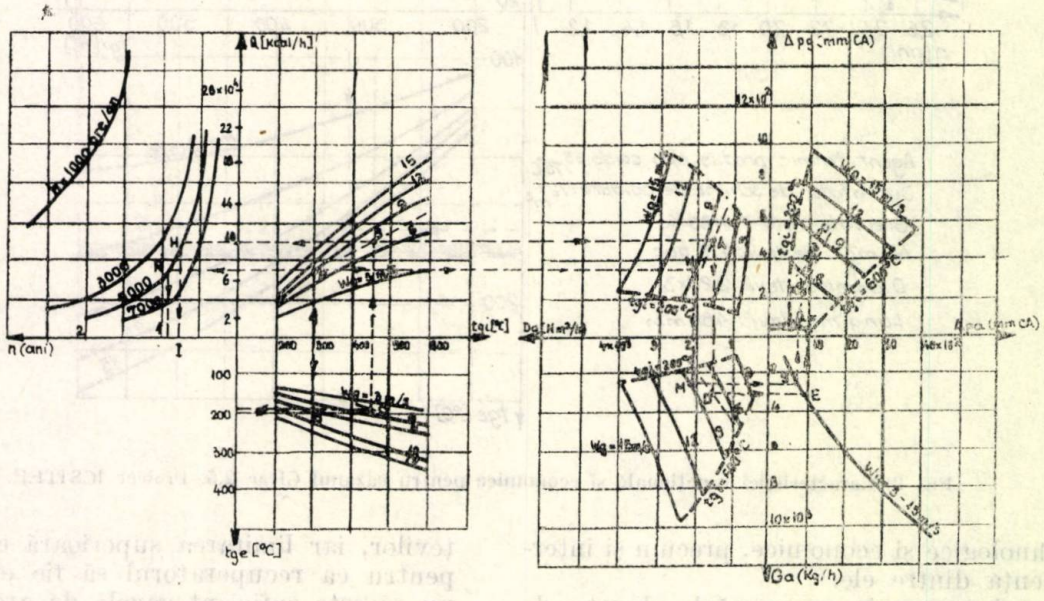


Fig. 5. Caracteristici funcționale ale cazanului tip 2: gaze de ardere din combustibil lichid; agent termic produs: apă caldă 95/75°C.

2. Modul de utilizare a nomogramelor

De obicei, la proiectarea unor instalații de recuperare se cunosc mărimile D_g și t_g. De exemplu, pentru $D_g = 1500$ m³/h* și $t_{gi} = 475$°C în figura 4 se găsește punctul M și pot fi alese două variante constructive: cazanele notate simbolic tip 2 și tip 3 care vor recupera circa 100 000 kcal/h.

* m³ în condiții de presiune și temperatură normale

Se trece la nomogramele de tipul celor din figura 5 și se compară unele mărimi hidraulice și economice (traseele A—B—C; A—D—E—F și B—H—I).

Se constată că „tipul 3" are pierderi de sarcină mai mici, atît pe circuitul apei, cît și pe cel al gazelor de ardere. Avînd în vedere și faptul că punctul de funcționare se află aproximativ în centrul domeniului economic

Cazan	W_g [m/s]	Δp_a [mm H_2O]*	Δp_g [mm H_2O]*	n [ani]
tip 2	7	1000	40	0,8
tip 3	3,5	600	20	1,2

* 1 mm H_2O=9,8N/m² (Pa)

(deci o elasticitate bună în funcționare) este indicat a alege cazanul tip 3.

Evident, în alegerea unui anumit cazan trebuie să se țină seama și de dimensiunile lui, caracteristici constructive, posibilități de amplasare în interior sau exterior etc.

Dacă se urmărește verificarea funcționării unui recuperator existent este necesar a măsura cele două temperaturi t_{g_i} și t_{g_e}. Cu aceste valori se stabilește punctul 0 (fig. 5), parametrul $W = 9$ m/s și apoi traseele : O—P—R; P—N—M—S—Q, determinîndu-se mărimile Q, n, D_g, G_a, Δp_a și Δp_g.

Concluzii

Nomogramele care prezintă caracteristicile funcționale și economice ale fiecărui recuperator dau posibilitatea beneficiarilor să utilizeze aceste aparate, uneori în condiții mult mai avantajoase decît cele pentru care au fost proiectate. Prin măsurători simple a două temperaturi se determină cu ușurință celelalte mărimi și se constată buna funcționare a aparatului.

În nomenclator au fost introduse astfel de nomograme, pe grupe de cazane, împărțite după caracteristica lor constructivă (acvatubulare sau ignitubulare), natura combustibilului din care provin gazele de ardere (gazos sau lichid) și natura agentului termic produs (apă caldă 95/75°C, apă fierbinte 150/70°C și abur de 8 și 13 bar).

Bibliografie

[1] Caluianu, V., Antonescu, N. *Cazane. Îndrumător de proiectare.* ICB, 1979.

[2] * * * *Proiecte ale cazanelor recuperatoare întocmite de ICSITEE, IPIU, ICSITPSC etc.*

[3] * * * *Studii de seriere a recuperatoarelor de căldură din gazele de ardere* contr. 51a/1986; 36/1986 și 56/1987.

[4] * * * *Nomenclator IPCT,* București, 1988.

(Primit la 21 februarie 1989, acceptat la 13 martie 1989

NOUTĂȚI

Din energetica mondială

INSTALAȚIE DE POMPĂ DE CĂLDURĂ CU O PUTERE DE 25 MW ÎN SUEDIA

În 1988 s-a pus în funcțiune în Suedia o instalație de pompă de căldură de 25 MW produsă de firma ASEA Stal, cu compresor în două trepte, avînd drept agent de lucru hladonul R 22 și valorificînd apele reziduale industriale cu temperatura între 7 și 16°C.

Instalația de pompă de căldură va furniza apă caldă în rețelele termice locale la o temperatură de 60—75°C, asigurînd astfel circa 45 % din consumul unui oraș cu o populație de 107 mii locuitori.

Efectul economic anual se materializează în scăderea consumului de păcură cu 7 000 m³ și a consumului de cărbune cu 12 000 t.

Instalația de pompă de căldură va contribui la îmbunătățirea situației ecologice a orașului prin micșorarea emanațiilor în atmosferă, astfel:

— oxizi de sulf — cu 100 t;
— oxizi de azot — cu 150 t;
— bioxid de carbon — cu 25 000 t.

Investițiile totale în instalația de pompă cu căldură, inclusiv în instalațiile electrice și clădiri etc. sînt de 36 mil. coroane suedeze sau 3,3 mil. lire (engl). Durata de recuperare a investiției este sub 5 ani.

După: Referativnîi jurnal, 22, Energhetika, vol. general nr. 8/1988, poz. 8S146)

VALORIFICAREA CĂLDURII REZIDUALE ÎN INDUSTRIA S.U.A.

Industriei S.U.A. îi revine circa 1/3 din totalul energiei consumate în această țară. Se detașează 10 subramuri industriale al căror consum energetic constituie 78 % din totalul cerut de industrie; printre cele mai importante subramuri consumatoare se numără industria chimică, petrolieră, industria prelucrătoare a metalului. Una din căile importante de creștere a economicității energetice a industriei o constituie valorificarea căldurii reziduale din procesele industriale. În S.U.A. cel puțin 400 întreprinderi livrează în prezent echipamente termoenergetice de valorificare.

Pentru căldura de înaltă temperatură se produc recuperatoare de radiație și convective, regeneratoare rezistente la foc, roți termice din materiale ceramice. Pentru căldura de medie temperatură se produc roți termice metalice, schimbătoare de căldură de diferite tipuri, boilere etc. Căldura de joasă temperatură se valorifică în principal prin pompe de căldură.

Există însă și mari rezerve de căldură nevalorificate. Astfel, din 300 de cuptoare pentru topirea aluminiului doar 20 sînt echipate cu recuperatoare, în timp ce din cele 1700 cuptoare de topire a oțelului doar 10 % nu au fost dotate cu astfel de recuperatoare.

Este insuficient folosit sistemul pompelor de căldură.

Viitorul valorificării acestor rezerve depinde mult, în S.U.A., de prețul la combustibilii organici.

(După: Referativnîi jurnal, 22, Energhetica, vol. general, nr. 9/1988, poz. 9S118)

Studii privind stocarea energiei termice în metale topite

Ș. l. dr. chim. VALERIA PETRESCU *

Descriptori: stocare energie, metale topite

Sînt prezentate determinările experimentale privind comportarea din punctul de vedere al stocajului termic a cîtorva metale: Pb, Sn, Cd, Zn. Folosindu-se o metodă originală rapidă și ieftină s-au aflat căldurile stocate în condiții cît mai apropiate de regimurile de funcționare ale sistemelor reale de stocaj termic în topituri. Datele obținute sînt utile în proiectarea și realizarea sistemelor de stocaj al energiei termice.

Experimental determinations regarding the behaviour at thermal storage of some metals: Pb, Sn, Cd, Zn are presented. Using an original rapid and inexpensive method the heat stored in regimes close to the operation regimes of real thermal storage systems in smeltings were determined. The obtained data are useful in the thermal energy storage systems design and manufacturing.

Lucrarea de față continuă cercetări anterioare [1 — 4] în domeniul stocajului energiei termice în topituri. S-au făcut astfel de studii pe unele substanțe : NaOH, $NaNO_3$ și amestecul eutectic KCl—LiCl. În prezent ne-am propus să cercetăm comparativ în același domeniu de temperatură (500—800 K) comportarea din punctul de vedere al stocajului termic a cîtorva metale : Pb, Sn, Cd și Zn. Astfel de studii experimentale ni se par importante ținînd cont de faptul că datorită ireversibilității proceselor și a pierderilor de căldură către mediul ambiant prin izolații, într-un sistem real, randamentul căldurii preluate din sistemul de stocaj nu este niciodată 100%.

În literatura de specialitate apar multe încercări nefinalizate, reies multe dificultăți constatate în experimentele de durată prelungită. De aceea considerăm necesare efectuarea de studii experimentale privind cantitatea de energie stocată în condiții cît mai apropiate de regimurile de funcționare ale sistemelor reale de stocaj termic, viteze de răcire și fluxuri de căldură relativ ridicate. Interesează, de asemenea, informații privind fiabilitatea, anduranța și stabilitatea chimică și termică a substanței de stocaj în interacțiune cu conteinerul.

Pentru determinarea cantității de energie stocată s-a folosit un calorimetru răcit cu apă în curgere continuă, în regim staționar (debit constant) în care se introduce un conteiner de oțel inoxidabil, conținînd sistemul topit [4]. S-a urmărit variația de temperatură a apei din calorimetru, citindu-se simultan temperatura la intrarea și la ieșirea din calorimetru. S-au ridicat circa 5 curbe de răcire pentru metalele Sn, Pb, Cd, Zn. În figurile 1—4 sînt exemplificate astfel de curbe de răcire pentru fiecare sistem, și anume sînt reprezentate în corespondență temporală curbele de răcire ale topiturii și variația temperaturii apei din calorimetru.

Atît căldurile latente, cît și cele sensibile se obțin prin determinarea căldurii preluate de către apa de răcire din calorimetru :

$$q = \text{debit} \quad C_p \cdot \Delta t \,.\, \Delta\tau,$$

unde : C_p este căldura specifică a apei ;

Δt — variația de temperatură a apei din calorimetru ;

$\Delta\tau$ — durata fie a solidificării, în cazul căldurii latente, fie a răcirii topiturii și respectiv a solidului — în cazul căldurii sensibile.

Căldurile latente de topire obținute experimental prin metoda descrisă sînt date în tabelul 1, comparativ cu datele din literatură. În paranteză sînt trecute lungimile palierelor (în minute). Nu toate curbele de răcire au putut fi valorificate în ceea ce privește calculul căldurii latente de topire, aceasta întrucît se remarcă o tendință de înclinare și diminuare a palierului odată cu creșterea numărului de cicluri topire-solidificare, lucru ce dovedește instabilitatea în timp a sistemului. Dintre cele patru metale studiate, staniu prezintă cea mai bună stabilitate, fiind urmat de zinc.

În figura 5 se prezintă rezultatele cercetării actuale, privind metalele arătate, comparativ cu rezultatele obținute anterior [4] referitoare la $NaNO_3$, NaOH, LiCl — KCl. Metalele care s-au dovedit mai stabile în comportarea la

* Ș.l. dr. chim. Valeria Petrescu — Facultatea de Tehnologie Chimică, Institutul Politehnic, București.

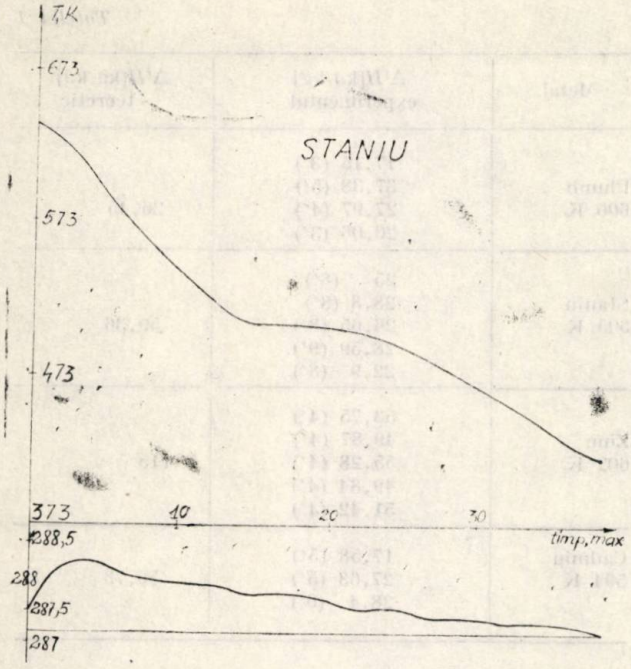


Fig. 1.

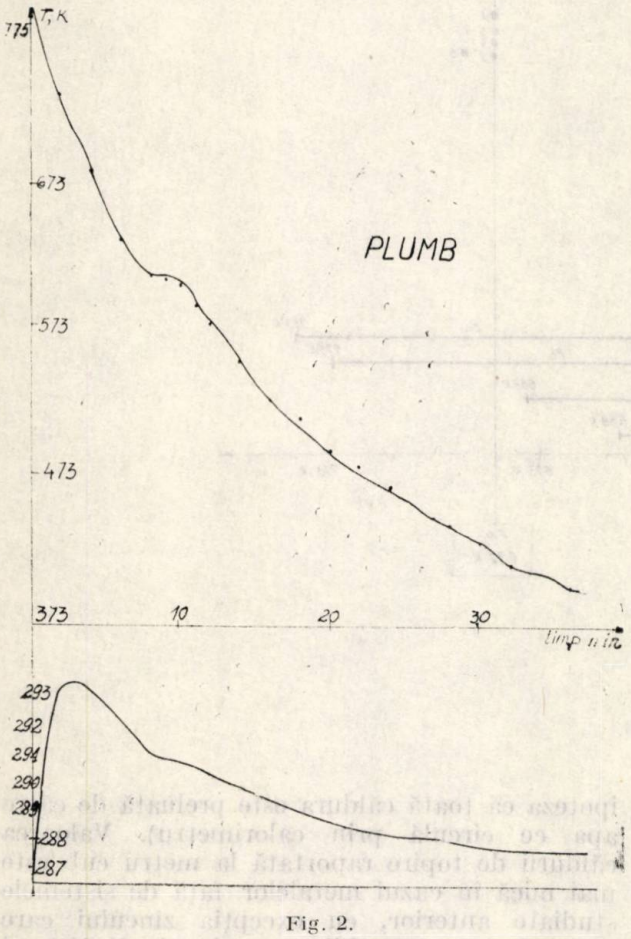


Fig. 2.

răcire dau pentru căldurile de topire, valori cu fluctuații mai mici (staniu și zinc față de cadmiu și plumb). În cazul substanțelor studiate anterior a apărut o situație analoagă :

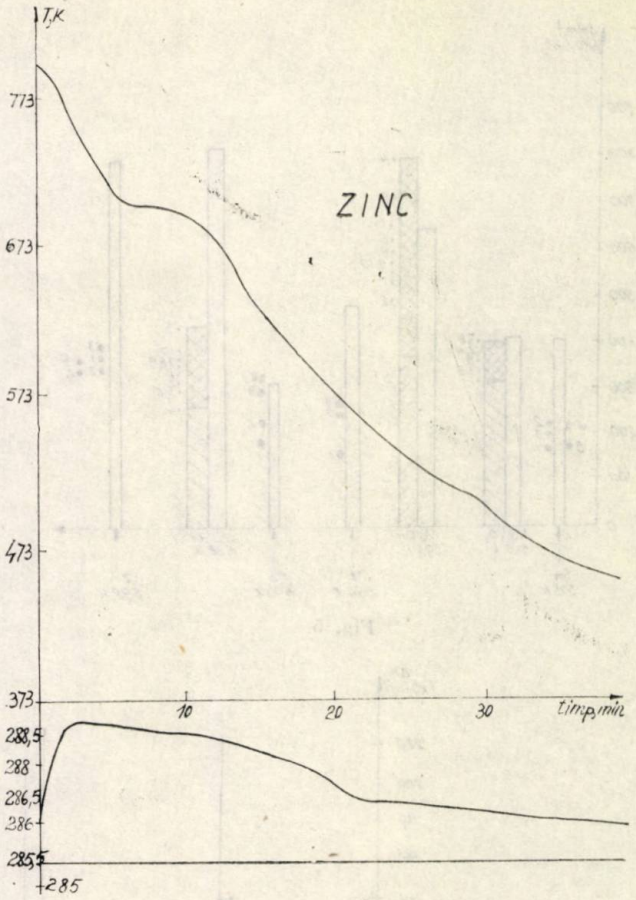


Fig. 3.

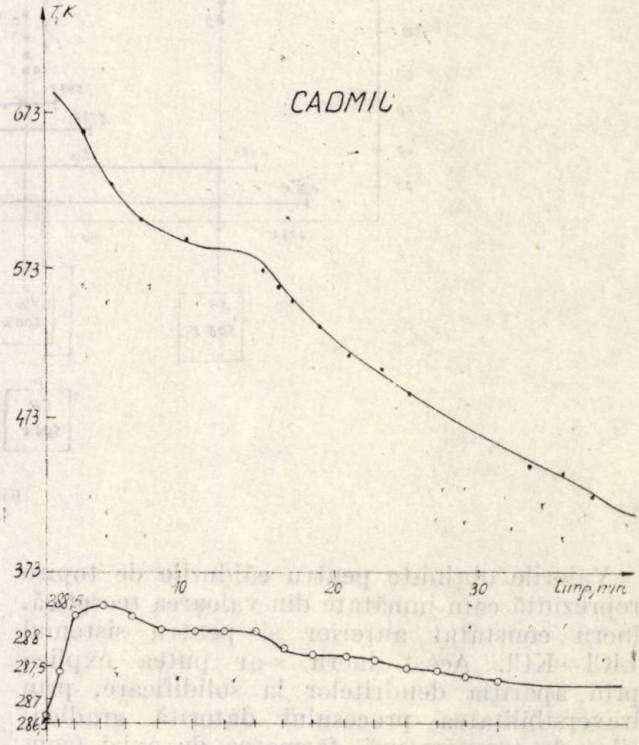


Fig. 4.

$NaNO_3$ s-a dovedit mai stabil decît LiCl—KCl, iar cel mai instabil s-a dovedit NaOH.

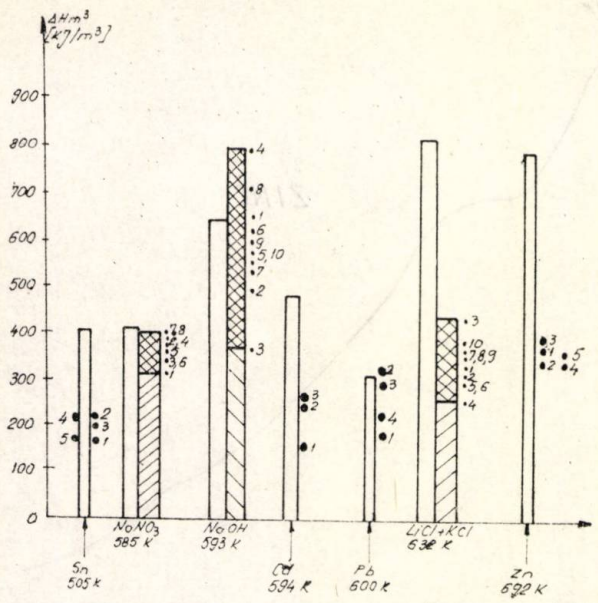


Fig. 5.

Tabelul 1

Metal	$\Delta^t H$[kJ/kg] experimental	$\Delta^t H$[kg/kJ] teoretic
Plumb 600 K	17,15 (3′) 37,38 (5′) 27,97 (4′) 20,06 (3′)	26,45
Staniu 505 K	25 (8′) 28,8 (8′) 26,65 (8′) 28,59 (9′) 22,9 (8′)	59,36
Zinc 602 K	53,75 (4′) 49,87 (4′) 55,28 (4′) 49,84 (4′) 51,42 (4′)	115
Cadmiu 594 K	17,58 (5′) 27,63 (5′) 28,4 (6′)	56,73

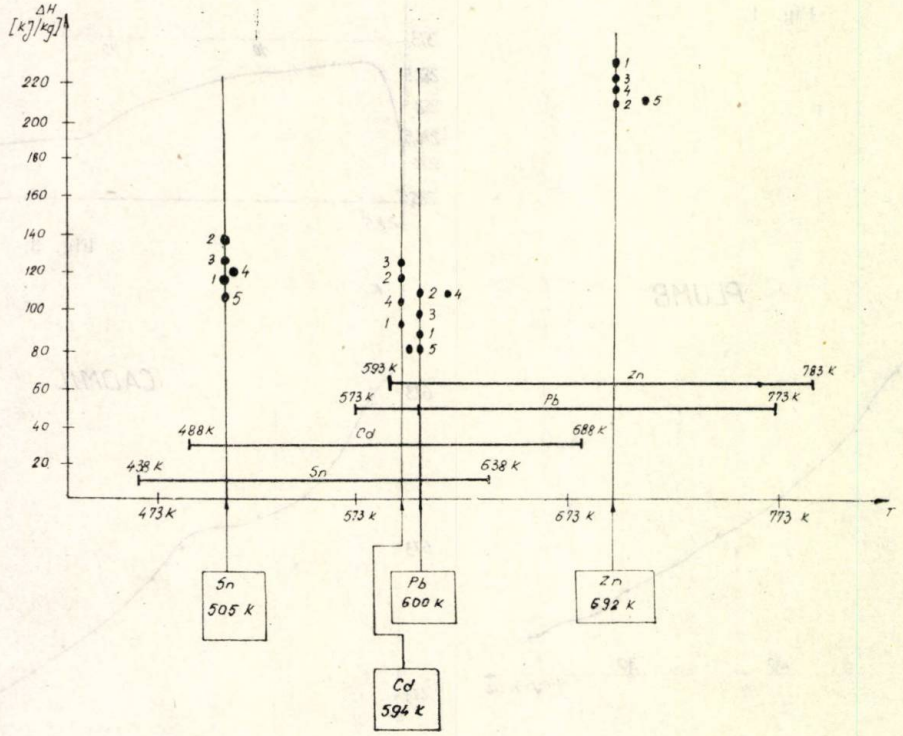


Fig. 6.

Valorile obţinute pentru căldurile de topire reprezintă cam jumătate din valoarea teoretică, lucru constatat anterior şi pentru sistemul LiCl—KCl. Acest lucru s-ar putea explica prin apariţia dendritelor la solidificare, prin ireversibilitatea procesului datorită gradienţilor de temperatură, formarea de oxizi (conteinerul nefiind închis ermetic) şi prin eventualele pierderi de căldură prin partea superioară a conteinerului (în calcul plecîndu-se de la ipoteza că toată căldura este preluată de către apa ce circulă prin calorimetru). Valoarea căldurii de topire raportată la metru cub este mai mică în cazul metalelor faţă de sistemele studiate anterior, cu excepţia zincului care are valori comparabile cu cele ale $NaNO_3$ şi LiCl-KCl. Dintre cele trei sisteme (zinc, $NaNO_3$, LiCl—KCl), este evident că pentru folosirea ca material de stocaj termic este de preferat zincul, pentru conductibilitatea sa termică

mult mai bună decît celelalte două sisteme. Totuși, din punct de vedere economic $NaNO_3$ este mai economic decît zincul, motiv pentru care într-un sistem real de stocaj ar fi preferabilă o variantă constructivă care să îmbine avantajele economice ale $NaNO_3$ cu avantajele termice ale zincului — folosirea unui sistem hibrid în care conteinere cu zinc să alterneze cu conteinere cu $NaNO_3$.

Pentru a valorifica și curbele de răcire fără un palier pronunțat s-a calculat căldura totală stocată (ea include atît căldura sensibilă, cît și cea de topire). S-a făcut acest calcul folosind toate curbele de răcire ridicate, iar pentru a putea compara aceste călduri, calculul s-a făcut pentru același interval de temperatură de 200°. Căldura totală calculată conține și căldura sensibilă a fierului, adică a materialului din care este confecționat conteinerul; de altfel, într-un sistem de stocaj real topiturile se află întotdeauna încapsulate în conteinere metalice și deci căldura de stocaj include și căldura sensibilă a metalului din care este confecționat conteinerul. Rezultatele sînt prezentate în figura 6. Zincul se dovedește și din punctul de vedere al căldurii totale preferabil față de celelalte metale studiate. În figură sînt marcate, pentru fiecare din metalele studiate, domeniile de temperaturi în care s-a determinat căldura totală stocată.

Studiile calorimetrice efectuate au permis aflarea aproximativă a căldurii totale stocată în condiții cît mai apropiate de regimurile de funcționare ale sistemelor reale de stocaj termic în topituri, atît în ceea ce privește dimensiunile conteinerului și cantitatea de substanță, cît și în ceea ce privește vitezele de răcire și fluxurile de căldură, astfel de date fiind foarte utile în proiectarea și realizarea sistemelor de stocaj al energiei termice.

Bibliografie

[1] Petrescu, V., Petrescu, S. *Metodă experimentală pentru determinarea cantității de energie stocată sub formă de căldură latentă de topire.* În: Energetica, 35, nr. 8, 1987, p. 340—342.

[2] Petrescu, V., Constantinescu, R. *Unele aspecte privind stocarea energiei termice în topituri la temperaturi medii (573—773 K).* În: Energetica, 35, nr. 10, 1987, p. 447—451

[3] Petrescu, V. *Studii experimentale privind stocarea energiei termice în săruri topite la temperaturi medii 300—500°C.* În: Revista de chimie, 39, nr. 1, 1988, p. 28—31.

[4] Petrescu, V., Cotârță, A., Vișan, T. *Metodă calorimetrică de determinare a energiei stocată în sisteme topite (în domeniul de temperatură 373—1073 K).* În: Energetica, 36, nr. 4, 1988, p. 182—184.

(Primit la 27 octombrie 1988, acceptat la 25 mai 1989

NOUTĂȚI

Din energetica mondială

TERMODINAMICA ȘI EVOLUȚIA VIEȚII

Borel Lucien publică în „Polyrama" nr. 79/1988 (Franța) un articol intitulat „*Thermodynamique et evolution du vivant*".

A doua lege a termodinamicii statuează creșterea entropiei în procesele nereversibile, distrugerea ordinii și degradarea energiei.

Evoluția vieții, crearea unor forme de viață tot mai complicate și autoreproducătoare duce însă la creșterea ordinii și micșorarea entropiei, fapt care aparent ar contrazice a doua lege a termodinamicii. Cu toate acestea, din punctul de vedere al termodinamicii lineare a fenomenelor nereversibile ființa vie trebuie privită ca un sistem deschis. Micșorarea entropiei în natura vie este însoțită în mod inevitabil de creșterea acesteia în mediul extern.

Efectul general astfel obținut nu va contrazice cea de-a doua lege a termodinamicii.

În articol se abordează diverse probleme, ca de exemplu: consumul și evoluția, bilanțurile energetice și exergetice ale naturii.

Se introduce conceptul de termodinamică neliniară a proceselor necchilibrate (teoria lui Pirojin) și se arată că procesele economice în societatea umană se supun, de asemenea, celei de-a doua legi a termodinamicii, motiv pentru care acestea nu pot fi privite ca procese independente și izolate de alte procese sociale și de starea mediului ambiant. În acest plan, autorul acordă o deosebită atenție așa-zisei „conștiințe" ecologice și altor numeroase aspecte.

(După: Referativnii jurnal, 22, Energhetika, vol. general, nr. 10/1988, poz. 1086)

LA 100 DE ANI DE LA DESCOPERIREA UNDELOR ELECTROMAGNETICE

Această importantă descoperire a adus mijloace noi de comunicare, foarte rapide și la mare distanță, cu influențe deosebite asupra vieții sociale. Una dintre urmările importante ale acestei descoperiri este faptul că permite legătura cu cosmosul, ceea ce în viitor poate avea urmări neașteptate.

Datorită acestor caracteristici volumul comunicărilor prin unde electromagnetice a crescut considerabil și această evoluție continuă în ritm înalt, în condiții tehnice din ce în ce mai perfecționate, de la telegrafia fără fir trecîndu-se la radiodifuziune și apoi la televiziune, pe lîngă alte multe aplicații, precum radarul. În acest mod tehnica comunicării se dezvoltă continuu.

Descoperirea undelor electromagnetice se datorește fizicianului Hertz, continuator al operei lui Maxwell, care le prevăzuse teoretic, demonstrîndu-le existența prin relații matematice; urmașul său a reușit să le demonstreze existența în mod experimental.

Prezentarea activității lui Hertz constituie și o prezentare a etapelor marii descoperiri.

* * *

Heinrich Rudolph Hertz s-a născut la Hamburg, la 22.02.1857, fiu al unui avocat și senator al vechiului oraș hanseatic. Ambii părinți au avut o mare influență asupra formării intelectuale a copilului, care avea o constituție fizică debilă. Cu ei a întreținut o permanentă și amănunțită corespondență; după stingerea din viață, la numai 37 de ani, atît mama, cît și cele două fiice au contribuit mult la cunoașterea personalității și activității sale.

Inițial, începînd din anul 1875, Hertz s-a pregătit să ajungă constructor sau arhitect, dar în anul 1878 și-a schimbat opțiunea, devenind student al Universității din Berlin, unde printre profesori deosebiți a avut și pe celebrii Hermann von Helmholtz (1821—1894) și Gustav Robert Kirchhoff (1824—1887).

Avînd aptitudini de cercetător de laborator a fost remarcat de către Helmholtz, care i-a devenit un îndrumător valoros, dar fără a-i impune căile sale de gîndire. Animați de dorința de-a contribui la progresul științific, între ei s-a stabilit o prietenie permanentă, întreținută și de concepțiile asemănătoare în domeniul teoriei electromagnetismului.

[La acea epocă, la Universitatea din Berlin, profesorul Wilhelm Weber (1804—1891) preda această teorie pe baza concepției de fluid a electricității și a principiului acțiunii la distanță. Toate fenomenele cunoscute atunci fiind explicabile prin teoria dezvoltată de el, acesta avea autoritate printre cei mai mulți fizicieni].

Helmholtz, pe lîngă alte cercetări, a început și pe acelea de electrodinamică. Atras de gîndirea lui Faraday, precum și de teoria lui Maxwell, foarte puțin cunoscută atunci pe continent, a considerat necesară desfășurarea unei intense activități experimentale pentru verificarea concepțiilor noi și foarte îndrăznețe ale lui Maxwell. Cu un deosebit simț de cunoaștere a posibilităților oamenilor, a socotit că potrivit pentru această sarcină importantă era Heinrich Hertz. Dintre dovezile de obținut esențială era aceea că polarizarea dielectrică a unui izolator, într-un cîmp electric variabil în timp, produce un cîmp magnetic în mediul înconjurător, adică același efect ca un curent galvanic (de conducție). Ca urmare, se putea verifica ideea nouă formulată de Maxwell că un circuit electric deschis se comportă analog unui circuit închis, în ceea ce privește producerea cîmpului electromagnetic. În consecință, cum reieșea din ecuațiile maxwelliene, cu un asemenea circuit se pot obține unde electromagnetice, care se propagă în mediul înconjurător.

Deoarece fenomenul prevăzut de Maxwell nu ar fi fost sesizabil decît în condițiile unor oscilații electrice de înaltă frecvență, trebuia să se găsească un mijloc de producere mai potrivit decît descărcarea unei butelii de Leyda, cu care nu se puteau obține frecvențe destul de înalte.

Obiectivele dificile urmărite, pe de o parte, și precaritatea mijloacelor de experimentare, pe de altă parte, făceau îndoielnică cercetarea, ceea ce Hertz semnala în anul 1879. Ca stimulent pentru rezolvarea importantei probleme propuse, la stăruința lui Helmholtz, Academia din Berlin a instituit un premiu deosebit.

Hertz trebuia să îmbine preocuparea pentru cercetare cu necesitatea de-a dobîndi titlurile care să-i permită încadrarea în viața universitară. Între toamna anului 1879 și martie 1880, Hertz a elaborat dizertația de doctorat. După trecerea examenului, profesorul Helmholtz i-a oferit un post de asistent. Perioada pînă în 1883 a fost consacrată unor variate cercetări, care i-au permis extinderea și adîncirea cunoștințelor de fizică. Cu toate avantajele pe care le avea la Berlin, mai ales apropierea de Helmholtz, a decis, totuși, în 1883 să se transfere la universitatea de mai mică importanță de la Kiel, unde a primit și titlul de docent. Lipsindu-i însă condițiile de cercetare efectivă (neavînd posibilitatea de experimentare își organizase acasă un mic laborator), activitatea sa s-a concentrat asupra studiului, îndeosebi asupra problemelor electrodinamicii.

Dintre lucrările publicate în această perioadă este de menționat *Über die Beziehungen zwischen der Maxwellschen elektrodynamischen Grundgleichungen und der Grundgleichungen der gegnerischen Elektrodynamik (Asupra relațiilor dintre ecuațiile fundamentale ale electrodinamicii maxwelliene și ecuațiile fundamentale ale electrodinamicii opuse)* (1884).

În anul 1885 a intervenit o schimbare fericită, Hertz fiind numit profesor de fizică la Technische Hochschule din Karlsruhe, care dispunea de un laborator bine dotat. Aici, între 1886 și 1889 Hertz s-a consacrat cercetării în domeniul „scînteilor și vibrațiilor" (cum s-a exprimat Edison), devenind marele descoperitor al undelor electromagnetice.

La acea epocă, deși fizicienii englezi își însușiseră înaintea celor de pe continent teoria lui Maxwell, numai Fitzgerald și Oliver Lodge încercaseră verificări experimentale, dar fără succes. Astfel Hertz era singurul cercetător experimentat în acest domeniu. Experiențele lui au fost numeroase și variate; în cursul lor a făcut și alte descoperiri, ca de exemplu, sesizarea fenomenului definit mai tîrziu ca fotoelectric.

Succesiunea fazelor experiențelor privind producerea undelor electromagnetice poate fi urmărită din notele și corespondența lui Hertz. Primul semnal favorabil l-a avut în 1886, cînd experimentînd descărcarea unei butelii de Leyda pe un interval de scînteiere, în serie cu o bobină, a observat scîntei slabe la o altă bobină, aflată din întîmplare în apropiere, fenomen care nu era explicabil prin inducție, ci trebuia interpretat numai prin propagare de unde.

Dar cu butelia de Leyda nu se puteau obține frecvențe destul de înalte. De aceea echipamentul de experimentare a fost perfecționat, constînd în principal dintr-un emițător (oscilator) cu scîntei, alimentarea făcîndu-se de la o bobină Ruhmkorff și dintr-un receptor (rezonator), dintr-un conductor circular deschis, intervalul de deschidere putînd fi variat și măsurat cu un microscop (mai tîrziu, în anul 1890, fizicianul francez Edouard Branly — 1844—1940 — a inventat un detector de unde electromagnetice mai sensibil, numit coeror, care a fost larg utilizat). Astfel putea obține oscilații de variate frecvențe și forme ale cîmpului electromagnetic. Experiențe hotărîtoare au fost obținute cu oscilații avînd frecvența de 80 MHz (în prezent numite unde ultrascurte). Experiențele se executau într-un amfiteatru în care se făcuseră unele amenajări: obiecte metalice îndepărtate, o pasarelă servea pentru circulație cu instrumentul de măsurare (conductor circular cu diametrul de 30 cm), plăci de zinc pe pereți ca oglindă reflectoare a undelor etc.

Corespondența între frecvențe și lungimi de undă ale undelor electromagnetice radio în care:

$$c = 3.10^8 \text{ m/s}, \quad \lambda = cT = \frac{c}{f}$$

sînt următoarele:

Frecvența f	*Lungimea de undă*
10 kHz = 10^4 Hz	30 000 m
100 kHz = 10^5 Hz	3 000 m
1 MHz = 10^6 Hz	300 m
10 MHz = 10^7 Hz	30 m
100 MHz = 10^8 Hz	3 m
1 GHz = 10^9 Hz	0,3 m
10 GHz = 10^{10} Hz	0,03 m

Urmează undele infraroșii, spectrul vizibil ultraviolete, raze X și raze gama, cu frecvențe din ce în ce mai mari, pînă la 10^{24} Hz.

Pe parcursul cercetărilor a publicat mai multe articole, apărute mai ales în Wiedemanns Annalen.

La 01.01. 1888 făcea cunoscut, mai întîi părinților săi, rezultatele pozitive obținute constînd în: *„acțiuni electromagnetice propagate în aer cu viteză finită, determinată, demonstrabilă, adică nu prin acțiuni la distanță nemijlocite, instantanee"*. La 21.01. 1888 anunța lui Helmholtz rezultatele, trimițîndu-i lucrarea *Über die Ausbreitungsgeschwindigkeit der elektrodynamischen Wirkungen (Asupra vitezei de propagare a acțiunilor electrodinamice)*, publicată în rapoartele Academiei de Științe din Berlin, din 02. 02. 1888.

Descoperirea „undelor hertziene" a devenit repede un eveniment larg cunoscut. Într-o scrisoare a profesorului Emil du Bois-Reymond sînt descrise sugestiv undele electromagnetice: „sînt oscilații transversale ale eterului, cu lungimea de 30 cm și se găsesc în spectru dincolo de ultraroșii, nu străbat corpurile optic transparente, dar străbat izolatorii, trec printr-o ușă închisă, dar sînt reflectate de o placă de zinc. Corpul omenesc la trecerea undelor provoacă o undă electrodinamică".

Astfel geniala teorie a lui Maxwell era confirmată prin cercetări experimentale nu mai puțin geniale. Este însă de menționat că Hertz n-a conceput posibilitatea că undele electromagnetice ar putea să servească la transmiterea de semnale.

Cercetările lui Hertz nu s-au limitat la producerea de unde electromagnetice și stabilirea lungimii de undă, ci s-au extins și la determinarea proprietăților lor: reflexie, refracție, interferență și polarizare, adică proprietăți pe care le are și lumina, la rîndul ei fenomen electromagnetic cu unde de foarte mică lungime.

Producerea undelor a fost explicată fizic de Hertz în modul următor: a adoptat conceptul de oscilator, reprezentat printr-un dipol oscilant, format din două sarcini electrice punctiforme de semn contrar, caracterizat prin momentul lor electric, variabil în timp sinusoidal. Dipolul oscilant produce un vîrtej electric și un vîrtej magnetic din linii de forță care se propagă în spațiu la distanțe mari de oscilator, cîmpul electromagnetic produs devine transversal (Valeriu Novacu).

Ca urmare a renumelui dobîndit, i s-au oferit lui Hertz mai multe catedre, între care acelea la care predaseră Wilhelm Conrad, Röntgen și Kirchhoff, dar el a preferat aceea a unei universități mai mici, cea de la Bonn, spre a avea timp să se consacre mai departe cercetărilor. În 1889 s-a transferat la această universitate, în locul lui Rudolf Clausius (1822—1888).

În perioada care a urmat a desfășurat o importantă activitate, pe care o începuse mai înainte, de sistematizare a ecuațiilor lui Maxwell, pentru cazul corpurilor în repaus, în forma originală avînd o structură greoaie. Acest rezultat a făcut obiectul lucrării *Über die Grundgleichungen der Elektrodynamik für ruhende Körper (Asupra ecuațiilor fundamentale ale electrodinamicii pentru corpurile în repaus)* (martie 1890). A urmat apoi o reformulare a ecuațiilor lui Maxwell pentru corpurile în mișcare expusă în: *Über die Grundgleichungen der Elektrodynamik für bewegte Körper (Asupra ecuațiilor fundamentale ale electrodinamicii pentru corpurile în mișcare)* (1890). Astfel s-a constituit o electrodinamică Maxwell-Hertz, folosită la tratarea aplicațiilor tehnice, în care vitezele sînt nerelativiste.

După Hertz o nouă etapă a urmat la începutul acestui secol prin constituirea electrodinamicii Einstein-Minkowski, destinată tratării mișcărilor relativiste. Este de semnalat și o contribuție românească, datorită profesorului Constantin I. Mocanu, constînd în extinderea teoriei lui Hertz și la viteze relativiste. Pe această temă lucrarea „Electrodinamica hertziană a corpurilor în mișcare" a apărut în Editura Academiei R.S.R., 1985.

La scurt timp după descoperirea undelor electromagnetice, în anul 1890, T. J. Thomson (1856—1940) anunță altă descoperire epocală, a electronului liber, determinînd și raportul între masă și sarcină.

În ultima perioadă a activității la Bonn, Hertz a finalizat lucrarea *Die Prinzipien der Mechanik (Principiile mecanicii)*, în care, după studierea contribuțiilor marilor predecesori, sînt exprimate punctele sale de vedere originale.

Heinrich Hertz a ținut ultima sa prelegere la universitatea din Bonn la 07.12.1891; bolnav, s-a stins din viață la 01.01. 1894; în același an a încetat din viață și îndrumătorul său Helmholtz.

Între elevii lui Hertz s-a distins Philipp Lenard (1862—1947), distins cu premiul Nobel în anul 1905, pentru cercetări privind razele catodice. El a publicat lucrările lui Hertz în trei volume, dintre care ultimul este privitor la *Principiile mecanicii*.

Hertz a formulat concepții generale în fizică nu numai în mecanică, ci și în electrodinamică, și anume în conferința ținută la Heidelberg, la 20.09. 1884 *(Über die Beziehungen zwischen Licht und Electricität (Asupra relațiilor între lumină și electricitate)*. Atît aceasta, cît și *Principiile mecanicii* dovedesc că Hertz a fost nu numai un experimentator deosebit, ci și un gînditor, cu orizont științific larg deschis.

Este de remarcat că în concepția lui Hertz asupra lumii fizice eterul are o importanță deosebită, dar ulterior, la scurt timp, acest mediu a fost eliminat prin teoria relativității restrînse.

Totuși, între mecanica relativistă și a lui Hertz sînt unele concordanțe; deosebirea esențială constă în faptul că în prima mișcarea materială a corpurilor este determinată de metrica spațiului, iar în a doua de raporturile cinetice, care depind de masele sistemului.

* * *

Hertz a activat în mijlocul unei perioade de mari progrese științifice, datorite îndeosebi oamenilor de știință mai înainte menționați, contemporani cu el. (La care mai trebuie adăugat A. A. Michelson cu celebra experiență din 1881, relativ la mișcarea pămîntului în raport cu eterul, precum și N. A. Lorentz cu teoria electronilor.)

După Hertz au urmat la scurt timp alte progrese științifice importante: după 6 ani teoria cuantelor a lui Planck, după 11 ani teoria relativității restrînse a lui Einstein și după 19 ani teoria atomică a lui Bohr.

Descoperirea lui Hertz a fost urmată la scurt timp și de mari progrese tehnice: la cîțiva ani de la experiențele reușite de laborator Alexander Stepanovici Popov și Cuglielmo Marconi transmiteau unde la sute de metri; în 1899 și apoi în 1902 distanțe mari erau învinse: mai întîi Canalul Mînecii și apoi Atlanticul.

Astfel, odată cu începutul secolului XX se naște telegrafia fără fir, folosită inițial îndeosebi pentru legături între nave maritime, precum și pentru legătura acestora cu uscatul.

În România primele instalații de telegrafie fără fir au fost realizate în 1903 făcînd legătura între vase maritime de pasageri și uscat (Constanța și București).

ing. PAUL CARTIANU

NOUTĂȚI

Din energetica mondială

LONDON PRESS SERVICE NE INFORMEAZĂ:

MODUL DE SIGURANȚĂ PENTRU LĂMPILE FLUORESCENTE

O companie britanică a pus la punct un dispozitiv pentru iluminatul de siguranță care să fie montat în interiorul lămpilor fluorescente obișnuite.

Modulul de siguranță „Kestrel", proiectat de Crompton Parkinson * poate fi deja folosit la majoritatea lămpilor standard pentru exterior și pentru interior sau pot fi procurate deja montate în interiorul lămpilor.

Modulul, care constă dintr-un sistem de celule de acumulator din nichel-cadmiu și o unitate invertoare, menține iluminatul pentru minimum două ore în cazul unui defect în rețea și se reîncarcă în 24 ore atunci cînd s-a restabilit alimentarea. Ca indicator vizibil al alimentării se folosește o diodă emițătoare de lumină roșie.

Există trei variante: pentru utilizare cu tuburi de 18—20W, pentru tuburile de 36—40 W și pentru tuburile de 58—65 W. Dispozitivele sînt ușor de montat și funcționează fiabil în medii corosive, cu praf și alte medii nepriclnice.

* Crompton Parkinson International Ltd, Woodlands House, The Avenue Cliftonville, Northampton, Anglia NNI 5BS.

DINAMOMETRE PE BAZĂ DE MICROPROCESOR

Un fabricant britanic a realizat o gamă de aparate de măsurat forța de foarte bună calitate, de mare precizie, robuste și rentabile din punctul de vedere al prețului.

Dinamometrul pe bază de microprocesor realizat de Mecmesin este proiectat pentru a putea fi ținut în mînă, dar, are, de asemenea, prevăzut un sistem de montare pe un stand de probe manual sau acționat cu motor. Circuitele electrice și microprocesorul realizează o ieșire de + 5V și o ieșire analoagă printr-un conector cu 10 contacte.

Un display cu cristale lichide indică forța în livre forță, în kilograme-forță sau newtoni, în timp ce interfețele exterioare permit conectarea la imprimatoare, monitoare de date și calculatoare pentru colectarea controlată a datelor de test.

Dinamometrul se găsește într-o cutie portantă în care se mai găsesc o instalație pentru încărcarea acumulatoarelor, o sondă de probă, o placă de presiune prelungitoare și instrucțiunile de funcționare. Aparatul are un domeniu larg de aplicații, inclusiv testarea următoarelor: componente comprimate, bujii, conexiuni electrice și sisteme de frînă (toate acestea în cadrul industriei de automobile); deschiderea parașutelor, leviere de comandă, întrerupătoare de panou, adezivi, capse detonante.

Montat la un stand acționat de levier sau de roată, dinamometrul își poate găsi întrebuințare și la verificarea arcurilor. Pentru cazul în care numărul de arcuri este mare, compania britanică oferă o serie de dispozitive pentru valorificarea arcurilor, cu care pot fi conectate la monitoare de date și calculatoare.

BATERII CU NICHEL-CADMIU UȘOR DE ÎNTREȚINUT

O companie britanică pretinde că noua gamă de baterii cu nichel-cadmiu realizată recent, reprezintă un progres tehnic major, care combină avantajele bateriilor cu recombinare ușor de întreținut cu cele ale bateriilor plate de buzunar.

Gama „Vantage" realizată de Alcad include 20 de grupuri de baterii pentru utilizări secundare. În condiții normale de utilizare pierderea de apă este neglijabilă și se poate prevedea o durată de funcționare de 20 ani.

Capacitățile de încărcare completă variază între 90 și 265 Ah.

Bateriile sînt foarte rezistente la condiții grele de funcționare; supraîncărcările, supradescărcările și inversarea celulelor nu produc o deteriorare permanentă. Construcția internă, în întregime din oțel, minimizează coroziunea; bateriile sînt rezistente la vibrații, la valorile mari de curent și la variații alternative de curent. Ele se încarcă fie sub potențial constant, fie sub curent constant și pot fi păstrate perioade lungi de timp fără reîncărcare.

Ușoare și compacte, prevăzute cu mînere, bateriile sînt ușor de manipulat și de păstrat. În unele cazuri, dacă este nevoie, se poate recurge la folosirea unui cadru din oțel cu strat izolat din epoxi. Aceste cadre din oțel au o construcție modulară cuprinzînd pînă la șase straturi. Pentru anumite cazuri au fost prevăzute și suporturi în consolă sau izolatoare.

INDICATOR DE TEMPERATURĂ CU FIBRE OPTICE

În Marea Britanie * a fost pus la punct un sistem care, folosind fibrele optice, poate să măsoare temperatura în orice punct de-a lungul unei distanțe de 2 km.

Sistemul utilizează un impuls luminos care este transmis printr-o fibră, pierzînd o parte din energie. O parte din lumina transmisă se întoarce și este înregistrată de dispozitive speciale de recepție. Cantitatea de lumină dispersată în punctul atins este direct proporțională cu temperatura.

Această distanță și cantitatea de lumină difuzată sînt măsurate de „cutia neagră" a dispozitivului la care este conectată fibra. Aceasta poate măsura pînă la patru bucle de cablu din fibre optice, fiecare avînd pînă la 2 km.

Sistemul nu prezintă limitele sondelor cu punct fix, iar buclele sînt ușoare, pot fi ușor instalate și pot fi blindate pentru a face față diverșilor factori de mediu. Fibrele nu sînt influențate de cîmpurile electromagnetice și sînt izolante din punct de vedere electric. Chiar dacă există o ruptură în buclă, impulsul luminos mai circulă încă de la fiecare capăt al buclei pînă la punctul de străpungere așa încît sistemul va funcționa încă cu excepția distanței dintre două puncte care sînt străpunse.

* York Ventures and Special Optical Products Ltd, York House, School Lane Chondler's Ford, Hampshire, England SO5 3 DGZ.

* * *

În editura „Nauka" U.R.S.S. a apărut cartea „*Metode ale analizei tehnico-economice în energetică*", autori I. M. Artiughina și R. L. Okorokov, 264 p., în limba rusă.

Sînt prezentate bazele teoretice, metodele și modelele economico-matematice pentru analiza problemelor actuale ale dezvoltării energeticii, concepută ca un sistem complex interdisciplinar, a cărui prognoză de dezvoltare și conducere funcțională constituie probleme de analiză de sistem dintre cele mai complexe. Acestea din urmă presupun cercetarea ritmurilor și proporțiilor de dezvoltare a tuturor subsistemelor care se includ în sistemul interramuri, utilizarea optimă a resurselor de materii prime și de muncă.

Cartea analizează particularitățile și domeniile de utilizare a metodei de analiză multicriterială de dezvoltare și funcționare a sistemelor energetice.

Este dezbătută problema utilizării metodelor simulării dinamice în energetică și se analizează abordările metodice posibile în problema evaluării competitivității economice a instalațiilor energetice nucleare.

(După : Referativnîi jurnal, 22, Energhetika, nr. 8./1988, poz. 8T65K)

Editura Springer Berlin ne transmite catalogul său de publicații nr. 3/1988. Prezentăm selectiv cîteva din lucrările care se referă la domeniul energiei:

C.-J. WINTER, J. NITSCH: **Hidrogenul ca purtător de energie,** 188 fig., 370 p.

Cele trei subdiviziuni ale cărții se referă în primul rînd la importanța și posibilitățile de utilizare ale hidrogenului. Secțiunea principală cuprinde o descriere a tuturor proceselor fundamentale de descompunere a apei și prin urmare de producere a hidrogenului (și oxigenului), folosind curentul electric, energia termică și radiațiile. Urmează o descriere a tehnicilor de transport și de înmagazinare. În a treia secțiune este prezentat progresul care poate fi conceput pentru sistemul energetic în direcția utilizării hidrogenului; sînt descrise eforturile care se fac în această direcție (cheltuielile) și sînt evidențiate efectele pozitive asupra mediului, economiei naționale și relațiilor comerciale internaționale.

M. BECKER, M. BÖHMER : **Tehnologia turnului solar răcit cu gaz,** 1988, 350 p.

Sînt prezentate rezultatele programului tehnologiei turnului solar răcit cu gaz. Experiențele au fost efectuate în perioada 1981—1987 pe Platforma Solar de Almeria (Spania). Activitățile s-au concentrat asupra perfecționărilor și verificărilor vizînd componentele turnului solar: heliostatul, receptorul și conductele cu gaz fierbinte. Au fost urmărite totodată: condițiile de exploatare, prelucrarea datelor de exploatare și condițiile meteorologice.

J. FENG: **Culegere de lucrări de la simpozionul ținut la Beijing cu tema arderea cărbunilor,** 1988, 959 fig., 1000 p.

Dat fiind progresul rapid al științei și tehnologiei arderii cărbunelui și în scopul promovării acestora în China, în septembrie 1987 s-a desfășurat la Beijing un simpozion pe această temă. La schimbul de experiență ce a avut loc în cadrul simpozionului, vizînd noile descoperiri și teorii cu privire la arderea cărbunelui, au participat specialiști din întreaga lume. Cartea lui J. Feng cuprinde lucrările prezentate în cadrul simpozionului.

Editura Adam Hilger din Bristol BSI 6 NX din UK (Marea Britanie) ne transmite noul catalog al publicațiilor pe 1989.
Prezentăm selectiv cîteva titluri care se referă la problemele energiei:

J. A. CLARKE — *Universitatea din Strathclyde.* **Simularea fluxurilor de energie în proiectarea clădirilor,** 1985, 400 p.

Cuprins: Introducere. Tehnici perfecționate de simulare. Simularea numerică prin diferențe finite. Prelucrarea matricei seturilor de ecuații pentru fluxul de energie. Subsisteme raportate la energie. Simularea unei centrale. Perfecționarea softwar-ului. Validare și implementare în practică. Anexe. Index.

Cartea contribuie la o mai bună înțelegere a activității de proiectare a clădirilor și în special a domeniului de cercetare care ține de simularea fluxurilor de energie în clădiri. Cartea arată complexitatea echilibrului energetic în clădiri și prezintă modele perfecționate puse la punct în scopul asistării proiectării, precum și posibilitatea aplicațiilor în practică.

B. HENDERSON SELLERS—*Universitatea din Salford.* **Poluarea atmosferei noastre,** 1984, 223 p.

Cuprins: Introducere — cadrul general și tipurile de sursă. Meteorologia și climatologia. Dispersia și dezvoltarea penei de fum. Controlul agenților de poluare. Efectul agenților de poluare. Combustibili și utilizarea combustibilului industrial. Sursele mobile. Controlul poluării aerului. Anexă. Referințe și bibliografie. Index.

Un studiu complex care oferă o examinare largă din multe puncte de vedere, deși nu exhaustiv — tehnică, a poluării aerului, privită mai mult ca o problemă internațională decît locală și limitată. Cartea este utilă specialiștilor care studiază mediul din punctul de vedere al sănătății, celor care studiază ecologia, precum și specialiștilor care optează pentru geografie sau chimie. Profesioniștii a căror activitate necesită o înțelegere a problemelor de poluare a aerului și cititorii cu o pregătire științifică de bază vor considera la rîndul lor această carte de mare interes.

P. O'KEEFE și N. M. PEARSALL — *Centrul de aplicații fotovoltaice din Newcastle.* **Sursele de energie reînnoibilă pentru secolul 21,** 1988, 184 p.

Cuprins: Energiile reînnoibile sînt ele alternative? Planificarea energiei. Biomasa pentru energie: prezent și viitor. Degradarea mediului și reducerea rezervelor de lemn de foc în Africa, ce se poate face? Experiența practică a funcționării motoarelor mici cu combustibili pe bază de alcool. Aspecte noi ale problemei lemnului de foc: un studiu de caz prezentat în cadrul Conferinței de Coordonare a Dezvol-

țării Regiunii Africe de Sud. Importanța randamentului energetic. Producerea combinată de căldură și energie electrică la scară mică. Economie de megadolari prin economisirea de megawați. Energia reînnoibilă: o soluție oferită de mediu la criza globală de energie ? Programul special de energie al Republicii Federale Germania. Energiile reînnoibile: din cînd în cînd. Energia mareelor și mediul ambiant. Termoficarea din biogaz. Utilizarea de rutină a datelor eoliene și solare la dimensionarea turbinei eoliene mici și a centralelor fotovoltaice. Deshidratarea turbinei cu ajutorul unui evaporator cu efecte multiple. Evaluarea surselor de energie reînnoibilă pentru alimentarea sistemului energetic național; prezentarea unui studiu de la Severn Tidal Barrage. Index tematic. Index de autori.

Mediul și energia au devenit probleme, politici majore în ultimul deceniu al secolului 20. Această conferință ținută în cadrul Anului European al Mediului analizează viitorul mediului ambiant, punînd accentul în special pe sursele de energie reînnoibilă care pot fi deosebite în mod eficient pînă în anul 2030. Restul cărții discută opțiunile de energie disponibile pentru societate care vor permite dezvoltarea socială și economică continuă fără să se aducă prejudicii serioase mediului ambiant.

J. T. Mc. MULLAN și R. MORGAN — *New University din Ulster*. **Pompele de căldură**, 1981, 164 p.

Cuprins: Introducere. Principiu de funcționare. Ciclul de compresie al aburului. Ciclul de absorbție. Ciclul de gaz. Pompe de căldură termoelectrice. Surse de căldură. Echipament, agenți frigorifici și sisteme. Analiza sistemelor de pompe de căldură. Efectele uleiului lubrifiant. Cicluri termodinamice alternative. Acționări pentru pompele de căldură cu compresie: forța motrică. Motoare electrice. Pornirea motoarelor. Reglajul de viteză al motoarelor. Acționări cu raport variabil. Pompe de căldură cu compresia combustibilului ars. Automatizări: dispozitive de siguranță. Dejivrare. Metode de inițiere a dejivrării. Modularea capacității. Dispozitive de pornire a motoarelor. Termostate pentru sistemele de încălzire casnică. Aplicații: Încălzirea spațiului. Recuperarea căldurii. Îndepărtarea umezelii. Evaluarea economică. Verificarea pompelor de căldură. Perspective de viitor. Anexă. Referințe bibliografice. Index.

O introducere completă și independentă în activitatea de cercetare și dezvoltare a pompelor de căldură (sisteme de recuperare a căldurii și care economisesc energia pentru clădiri și care funcționează prin recircularea unei părți din căldură care s-ar pierde altfel în mediul ambiant). Cartea cuprinde toate informațiile de bază necesare inginerilor care lucrează în acest domeniu de tehnologie energetică, dezvoltă cîteva idei fundamentale cu privire la acest subiect și include o bibliografie complexă.

R. H. TAYLOR — *CEGB-Londra*. **Surse alternative de energie primară pentru producerea centralizată a energiei electrice**, 1983, 326 p.

Cuprins: Introducere: rolul surselor alternative de energie primară în Marea Britanie și alte țări dezvoltate; rolul surselor alternative de energie primară în țările în curs de dezvoltare; potențialul mondial de surse alternative de energie. Energia vîntului: introducere, istoric; vîntul și caracteristicile acestuia; teoria aerodinamică simplă a centralelor eoliene; variante de proiectare a mașinilor; materiale pentru turbinele eoliene; concepții perfecționate; efectele asupra mediului și alegerea locului de amplasare: amplasarea în largul mării a turbinelor eoliene; resurse; aspecte economice; cercetarea și dezvoltarea energiei eoliene pe plan mondial. Energia mării: energia valurilor; conversia energiei termice a oceanelor; alte concepte pentru obținerea energiei din ocean. Energia mareelor: introducere; caracteristicile mareelor; modurile de bază ale funcționării schemelor mareice; mărirea producției prin modificarea rezonanței estuarelor; optimizarea schemelor cu un singur bazin; turbine; construcții civile; evaluarea valorii schemelor pe bază de maree; costul energiei mareelor; efectele asupra mediului; studii referitoare la funcționarea și potențialul schemelor majore pe bază de maree; alte locuri posibile de amplasare a schemelor pe bază de maree. Energia geotermică: introducere; energia geotermică din straturi acvifere; tehnologia rocii uscate fierbinți; dezvoltări viitoare posibile. Energia solară: introducere; caracteristicile radiațiilor solare; date prezentînd valoarea radiațiilor din Marea Britanie și alte țări; probleme în utilizarea energiei solare pentru producerea centralizată de energie în Marea Britanie: conversie fotovoltaică; sisteme fotovoltaice; centrale solare; satelit; producerea energiei termice din energia soarelui; coș solar; bazine solare.

Sursele noi și reînnoibile de energie au fost subiectul unei activități internaționale intense de cercetare și dezvoltare, iar acum au atins punctul în care pot fi considerate ca opțiuni serioase pentru producerea pe scară largă a electricității în anumite părți ale lumii. Cartea descrie principiile și progresul de ultimă oră a mai multor tehnologii (vîntului, oceanului, mareelor, geotermică și solară) și economicitatea și potențialul fiecăreia pentru producția de energie pe scară largă. Este concepută pentru inginerii sau oamenii de știință care au nevoie de o introducere tehnică în tehnologiile de energie alternativă, studenți și profesori și lucrători din energetică, care doresc să aibă o privire de ansamblu asupra dezvoltărilor recente dintr-un domeniu care nu se încadrează direct în sfera lor de activitate. Cartea se adresează și cititorilor care au dorința să afle despre tehnologiile în curs de dezvoltare.

I. URIELI și D. M. BERCHOWITZ: **Analiza motoarelor cu ciclu Stirling**. 1984, 274 p.

Serie de studii energetice moderne editate de profesorul Lisman de la laboratorul Rutherfood-Appleton

Cuprins: Introducere. Analiza proceselor izotermice. Mașini fără piston. Analiza proceselor adiabatice. Analiza schimbătoarelor de căldură. Analiza simplă. Pierderi parazitare. Anexe. Index.

Motorul Stirling are un randament termodinamic mare. Poate funcționa pe baza unei game largi de combustibil și se întreține ușor. De aceea este un posibil candidat la înlocuirea motorului cu ardere internă. Această monografie folosește matematica sofisticată a proceselor dinamice și termodinamice pentru evaluarea performanțelor reale ale oricărui proiect de motor Stirling. Este inclus listingul FORTRAN complet al unei tehnici sofisticate de simulare care modelează efectele reale care apar într-o mașină.

R. J. VAN OVERSTRAETER și R. P. MERTENS — *Universitatea Catolică, Leuven*. **Fizica, tehnologia și utilizarea energiei fotovoltaice**, 1986, 288 p.

Cuprins: Introducere. Fizica generală a energiei fotovoltaice. Fizica dispozitivelor specifice ale celulelor solare pentru diferite materiale. Tehnologia celulelor solare din silicon cristalin. Tehnologia celulelor solare cu peliculă subțire. Generatoare fotovoltaice cu concentrare optică. Caracterizarea și verificarea celulelor și modulelor solare. Funcționarea modulului fotovoltaic. Sisteme fotovoltaice. Aplicațiile actuale ale sistemelor fotovoltaice. Anexe. Concluzii. Referințe. Index.

Conversia energiei solare fotovoltaice oferă una din cele mai promițătoare metode de satisfacere a necesităților de energie ale viitorului. Cartea tratează toate aspectele subiectului, introducînd cititorul în fizica conversiei energiei solare fotovoltaice cu considerații generale, care se aplică tuturor tipurilor de celule. O mare parte a cărții este dedicată tehnologiei diferitelor tipuri de celule și de elementele de bază cu care cititorul să poată compara diferitele tehnologii ale celulelor solare, precum și să poată proiecta sistemele fotovoltaice. Materialul detaliat permite o referință prețioasă pentru specialiștii și pentru cercetătorii din domeniul energiei fotovoltaice sau din domeniul mai larg al industriei electroenergetice; în același timp lucrarea conține suficient material introductiv pentru a reprezenta un manual util, atît pentru studenți, cît și pentru nespecialiști.

Informăm cititorii că în publicaţia ENERGETICA PESTE HOTARE— seria Informaţii tehnico—ştiinţifice au apărut următoarele articole prelucrate din reviste străine:

VOL. I/1989

Orientări în energetică

1. Statul Singapore va folosi gazele naturale pentru producerea în viitor a energiei electrice

Conducerea şi automatica SE

1. Procontrol P, un sistem de automatizare modern pentru termocentrale

Centrale termoelectrice

1. Tehnologia patului fluidizat-proces de producere a energiei fără a polua mediul ambiant
2. Influenţa compuşilor cu greutate moleculară mare din combustibilii lichizi grei asupra comportamentului la căldură şi asupra caracteristicilor de ardere ale combustibililor lichizi grei
3. Experienţe obţinute în problema duratei de viaţă la racordurile dintre ţevi şi plăci tubulare
4. Economia de combustibil lichid datorită folosirii arzătoarelor de aprindere şi stabilizare cu praf de cărbune
5. Formularea raţională a proprietăţilor apei şi aburului pentru modelarea dinamică a proceselor energetice cu abur

Centrale nuclearoelectrice

1. Situaţia energeticii nucleare mondiale în anul 1987
2. Un pas înainte spre energia de fuziune

Surse şi tehnologii noi

1. Problema dezvoltării energeticii solare în U.R.S.S.
2. Energetica eoliană de sistem în U.R.S.S. Stadiu şi perspective
3. Utilizarea energeticii vîntului în economia naţională a U.R.S.S.
4. Prototipul de turbină eoliană de tip Musgrove de la Carmarthen Bay

Tehnologii chimice în energetică. Poluare

1. Purificarea atmosferei de emanaţiile nocive ale centralelor electrice în Japonia
2. Probele de piroliză a reziduurilor efectuate în cadrul centralei pilot Goldshöfe, R.F.G.

VOL. II/1989

Orientări în energetică

1. Direcţiile principale ale progresului tehnico-ştiinţific în electroenergetică şi alimentare cu căldură în condiţiile extinderii colaborării internaţionale
2. Direcţiile principale ale progresului tehnico-ştiinţific în electroenergetică şi colaborarea tehnico-ştiinţifică internaţională în domeniul creşterii eficienţei utilizării combustibililor

Dezvoltarea sistemelor energetice

1. Dezvoltarea sistemelor electroenergetice în Arabia Saudită
2. Dezvoltarea sistemului de transport/distribuţie al energiei electrice din Ghana

Conducerea şi automatica SE

1. Protecţia turbinei şi a cazanului realizată cu sistemul Procontrol „P"

Centrale hidroelectrice

1. Echipamenele electromecanice pentru cenrala Kalayaan cu acumulare prin pompaj (Filipine)
2. Bath County-cea mai mare centrală din lume cu acumulare prin pompaj

Reţele electrice

1. Proiect hidraulic pe calculator şi monitorizarea sistemelor de cabluri izolate cu ulei

Alimentare cu căldură

1. Căi de perfecţionare a nivelului tehnic şi a formelor de organizare a conducerii sistemelor de alimentare cu căldură din U.R.S.S.

Surse şi tehnologii noi

1. Activităţile desfăşurate de SSEB în domeniul energiei eoliene

Publicaţia ENERGETICA PESTE HOTARE — seria Informaţii tehnico—ştiinţifice poate fi consultată la bibliotecile unităţilor d-voastră

СОДЕРЖАНИЕ

ЭНЕРГЕТИКА ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ

КОРНЕЛ МИХЭИЛЭ, АДРИАН ГАБРИЕЛ ГИАУШ
Решение снижения энергетических потреблений в теплицах большой производительности 385—388

ДУМИТРУ РОМАШ: Методы экономии и рационального менения тепловой энергии, необходимые в лёгкой промышленности 389—393

КОНСТАНТИН ХАЙДУК, МИОАРА МИРЕА: Исследования, касающиеся определения потребности в тепле на одном предприятии г. Бухареста 394—396

ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ

МИРЧА РЭДУЛЕСКУ, МАРИАН ВЛЭДЕСКУ: Коэффициент задержки топки в котле, работающем на угле, в схеме острого дутья вентиляторной молотковой мельницы 397—401

РАДУ ПОПА, НИКОЛАЕ НИКУЛЕСКУ, ИОН УЦЭ: Переходные режимы при объединенной связи теплофикационных сетей, снабжаемых из различных источников 402—413

ВАСИЛЕ КАЛУЯНУ, НИКОЛАЕ АНТОНЕСКУ, ГЕОРГЕ МИХАЛАШКУ: Оптимальное использование некоторых типов утилизаторов тепла газов сгорания 413—419

НОВЫЕ ИСТОЧНИКИ И ТЕХНОЛОГИИ

ВАЛЕРИА ПЕТРЕСКУ: Исследования, касающиеся аккумулирования тепловой энергии в плавленных металлах 420—423

ИСТРИЯ ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ

ПАУЛ КАРТИАНУ: 100 лет со дня открытия электромагнитных волн 424—425

НОВОСТИ

В МИРОВОЙ ЭНЕРГЕТИКИ 396, 419, 423, 426
НОВЫЕ КНИГИ 427—428

INHALT

DIE ENERGIEWIRTSCHAFT IN INDUSTRIEBETRIEBEN

CORNEL MIHĂILĂ, ADRIAN GABRIEL GHIAUȘ: Lösung zur Herabsetzung des Energieverbrauches in Hochleistungsgewächshäusern 385—388

DUMITRU ROMAȘ: Methoden zur Einsparung und rationellen Anwendung der Wärmeenergie in der Leichtindustrie 389—393

CONSTANTIN HAIDUC, MIOARA MIREA: Forschungen zur Bestimmung der Wärmenachfrage zur Heizung eines Betriebes aus Bukarest 394—396

WÄRMEKRAFTWERKE

MIRCEA RĂDULESCU, MARIAN VLĂDESCU: Der Ausscheidungsfaktor der Brennkammern lignitgefeuerter Kesseln, in der Schaltung mit Direkteinblasung mit Gebläseschlägermühlen 397—401

WÄRMEVERSORGUNG

RADU POPA, NICOLAE NICULESCU, ION UȚĂ: Transitorische Regime beim Anschliessen von Fernheiznetzen an das Verbundnetz 402—413

VASILE CALUIANU, NICOLAE ANTONESCU, GHEORGHE MIHALAȘCU: Optimal betriebene Anlagen zur Wärmerückgewinnung aus Rauchgasen 413—419

NEUE ENERGIEQUELLEN UND-VERFAHREN

VALERIA PETRESCU: Studien zur Wärmeenergiespeicherung in Metallschmelzen 420—423

DIE GESCHICHTE DER ENERGIEWIRTSCHAFT

PAUL CARTIANU: 100 Jahre seit der Erfindung der elektromagnetischen Wellen 424—425

NEUIGKEITEN

DIE ENERGIEWIRTSCHAFT WELTWEIT 396, 419, 423, 426
NEUE BÜCHER 427—428

SOMMAIRE

L'ÉNERGIE DANS L'ENTREPRISE

CORNEL MIHĂILĂ, ADRIAN GABRIEL GHIAUȘ: Une solution pour réduire les consommations énergétiques dans les serres de grande capacité 385—388

DUMITRU ROMAȘ: Méthodes prévues pour l'économie et l'utilisation rationnelle de l'énergie thermique nécessaire dans l'industrie légère 389—393

CONSTANTIN HAIDUC, MIOARA MIREA: Recherches sur la détermination du besoin d'énergie d'une entreprise de Bucarest 394—396

CENTRALES THERMIQUES

MIRCEA RĂDULESCU, MARIAN VLĂDESCU: Le facteur de rétention du foyer des chaudières à lignite, dans le schéma d'insufflation directe à moulins ventilateurs à marteaux 397—401

CHAUFFAGE URBAIN ET INDUSTRIEL

RADU POPA, NICOLAE NICULESCU, ION UȚĂ: Régimes transistoires lors du raccordement des réseaux de chauffage urbain alimentés par sources différentes 402—413

VASILE CALUIANU, NICOLAE ANTONESCU, GHEORGHE MIHALAȘCU: L'utilisation optimale des récupérateurs de la chaleur des gaz de combustion 413—419

NOUVELLES SOURCES ET TECHNOLOGIES ÉNERGÉTIQUES

VALERIA PETRESCU: Etudes sur les stockage de l'énergie thermique dans les métaux fondus 420—423

HISTOIRE DE L'ÉLECTRIFICATION

PAUL CARTIANU: 100 ans depuis la découverte des ondes électromagnétiques 424—425

NOUVEAUTÉS

L'ENERGIE DANS LE MONDE 396, 419, 423, 426

LIVRES NOUVELLES 427—428

CONTENS

ENERGY IN THE ENTERPRISES

CORNEL MIHĂILĂ, ADRIAN GABRIEL GHIAUȘ: Solution for the Energy Consumption Decrease at High Capacity Greenhouses 385—338

DUMITRU ROMAȘ: Methods to Save and Rationally Use Thermal Energy in the Light Industry Branch 389—393

CONSTANTIN HAIDUC, MIOARA MIREA: Research Study Regarding the Heat Demand for Heating an Enterprise of Bucharest 394—396

THERMAL POWER PLANTS

MIRCEA RĂDULESCU, MARIAN VLĂDESCU: The Retention Factor of Lignite Fuelled Boilers Furnaces, in the Direct Injection Scheme With Fan Beater Mills 397—401

HEAT SUPPLY

RADU POPA, NICOLAE NICULESCU, ION UȚĂ: Transient Regimes During the Interconnection of Separate District Heating Networks 402—413

VASILE CALUIANU, NICOLAE ANTONESCU, GHEORGHE MIHALAȘCU: Optimal Utilization of Flue Gases Heat Recuperators 413—419

NEW ENERGY SOURCES AND TECHNOLOGIES

VALERIA PETRESCU: Studies Regarding Thermal Energy Storage in Molten Metals 420—423

THE HISTORY OF ENERGY

PAUL CARTIANU: 100 Years Since the Discovery of Electromagnetic Waves 424—425

NEWS

ENERGY WORLDWIDE 396, 419, 423, 426

NEW BOOKS 427—428

COLEGIUL DE REDACȚIE

Președinte, redactor responsabil: **dr. ing. Eugeniu Pavel**
Redactori responsabili adjuncți: **dr. ing. Mihai G. M. Pop, dr. ing. Gheorghe Bălan, ing. Radu Opincaru**
Secretar de redacție: **dr. ing. Teodor Popa**
Gestiunea financiară: **ec. Pompiliu Silvășanu**

Orientări în energetică: **dr. ing. Mario Duma**
Energetica în unități economice: **ing. Ion Măiereanu, ing. Alexandru Florescu**
Dezvoltarea sistemelor energetice: **dr. ing. Nicolae Armencoiu, dr. ing. George Manolescu**
Conducerea și automatica SE: **dr. ing. Victor Romert, dr. ing. Jean Constantinescu**
Centrale termoelectrice: **conf. ing. Costin Moțoiu, ing. Romeo Zbarcea**
Centrale hidroelectrice: **dr. ing. Gheorghe Luca**
Centrale nuclearoelectrice: **ing. Adrian Georgescu, prof. dr. ing. Nicolae Dănilă, ing. Mircea Tarța**
Rețele electrice: **ing. Dinu Voinea, ing. Nicolae Georgian**
Alimentare cu căldură: **ing. Nicolae Niculescu**
Surse și tehnologii noi: **ing. Constantin Popescu**
Tehnologii chimice în energetică. Poluare: **dr. chim. Maria Maftei**
Organizarea producției și a muncii: **ing. Miron Popescu**
Terminologia energetică: **dr. ing. Iosif Cserveny**
Istoria electrificării: **ing. Paul Cartianu**
Noutăți: **ing. Mihai Nistor, ing. Romulus Sfichi**
Centre universitare și industriale:
București: **conf. dr. ing. Alexandru Selischi**
Iași: **prof. dr. ing. Alexandru Poeată**
Timișoara: **prof. dr. ing. Viorel Negru**
Cluj-Napoca: **conf. dr. ing. Silviu Darie**

Acest număr a fost realizat cu ajutorul următorilor secretari ai grupelor de specialitate:

— **ing. Anton Roșu** — Centrale termoelectrice
— **ing. Angela Perea** Energetica în unități economice
— **ing. Ion Uță** — Alimentare cu căldură
— **ing. Ion Turcu** — Surse și tehnologii noi

Revista „ENERGETICA" este editată și administrată de Institutul de Cercetări și Modernizări Energetice prin Oficiul de Informare-Documentare pentru Energetică.
Vasile Pleșca — șef OIDE, **Ana Maria Chivu** — redactor

Revista ENERGETICA — publicație lunară, reflectă preocupările spirituale și realizările materiale în domeniul energeticii. Funcționează în conformitate cu *ROF* aprobat cu Ordinul nr. 97/1987, publicat în numărul 4/87 al revistei.

Instituțiile pot achita abonamentele în contul de virament nr. 30.11.8.01.01 — BN R.S.R. fil. sector 3 sau direct la redacție. Costul unui abonament: 144 lei anual; costul unui exemplar: 12 lei.
Redacția și administrația: București 79619, Bd. Energeticienilor nr. 8, sect. 3
Telefon: 20.67.30

Elaboratorii de lucrări propuse spre publicare sînt rugați să consulte „*Îndrumările pentru întocmirea și prezentarea lucrărilor propuse a fi publicate în revista Energetica*" și „*Ghidul pentru avizarea lucrărilor propuse a fi publicate în revista Energetica*" apărute în nr. 12/1986, precum și „*Planul tematic al revistei Energetica*" apărut în nr. 5/1987.

41 401

ANNOUNCEMENTS FOR READERS ABROAD

- **The review "Energetica" can send on request from publications abroad reports translated in one of the worldwide spoken languages**
- **The review "Energetica" proposes a publication exchange with similar reviews and in relating fields**
- **The review "Energetica" provides and publishes or introduces books on energy received at the editorial office. Reviews and presentations of books sent on this purpose to the editorial office can be published as well**
- **The review "Energetica" publishes on request from authors abroad reports of energy or other materials: technical and scientific news, inventions-innovations, information about technical and scientific symposia, etc. written in one of the worldwide spoken languages**
- **Readers from abroad can subscribe through: ROMPRESFILATELIA — sectorul import-export, P. O. Box 12—201 telex 10376 prsfir, Calea Griviței nr. 64—66, București — România.**

Tiparul: Întreprinderea Poligrafică „Informația", București
str. Brezoianu 23—25 c. 1410

Pentru a veni în sprijinul specialiştilor din cercetare, învăţămînt, proiectare, construcţii-montaj şi exploatare, precum şi al studenţilor şi al tuturor celor care doresc să se documenteze şi sau să se informeze despre preocupările şi realizările energeticii româneşti din ultimii 35 de ani, Oficiul de Informare Documentară pentru Energetică va elabora şi edita în anul 1990 lucrarea de documentare

OFICIUL DE INFORMARE DOCUMENTARĂ
PENTRU ENERGETICĂ

REVISTA
ENERGETICA

SINTEZA
BIBLIOGRAFICA
1953-1988

1990

REVISTA „ENERGETICA"
SINTEZĂ BIBLIOGRAFICĂ 1953—1988

Lucrarea va cuprinde lista articolelor publicate în revista „Energetica" de la apariţie pînă în prezent, clasificate pe tematici, precum şi un indice alfabetic al autorilor.

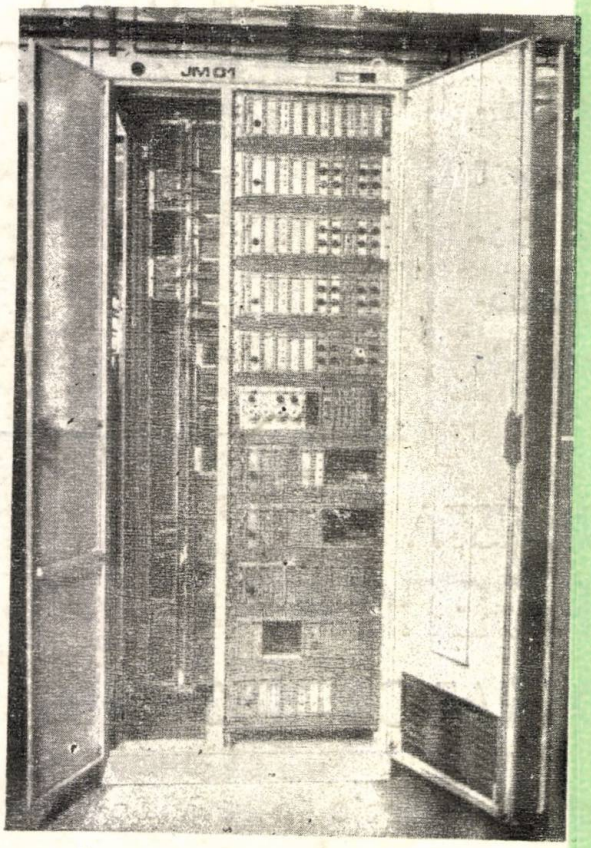
Preţul unui exemplar va fi de circa 100—125 lei.

Pentru stabilirea tirajului rugăm persoanele şi întreprinderile interesate să comunice printr-o scrisoare la Oficiul de Informare Documentară pentru Energetică, Bucureşti, sectorul III, b-dul Energeticienilor nr. 8, cod 79619, numărul de exemplare solicitate.

INSTITUTUL DE CERCETARE STIINTIFICA SI INGINERIE TEHNOLOGICA PENTRU AUTOMATIZARI, Bucureşti, Calea Floreasca nr.167, tel.33.00.69, sector 1

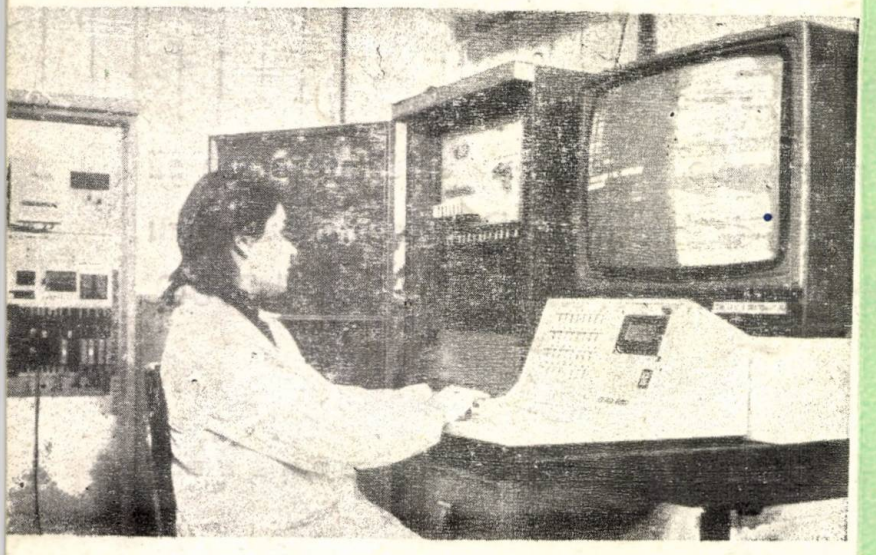
"SYSTEM'85" - o generaţie de echipamente moderne pentru automatizarea proceselor din energetică.

In componenţa sistemului intră secţiunea SRA pentru funcţiuni de măsură - reglare cu suport de semnal analogic şi secţiunea SCA pentru funcţiuni de comandă cu suport de prelucrare binar - digitală a informaţiei. Secţiunea SCA acoperă prin circa 50 tipodimensiuni de module în format EUROCARD funcţiunile de comandă de tipul INTERBLOCARI, PROTECTII, SEMNALIZARI, ACTIONARI, FORMARE SEMNALE BINARE, CUPLARE CU ETAJUL DE FORTA, TESTARE.



Furnizor : FEA Bucureşti
Concepţie : IPA Bucureşti/ISPE Bucureşti
Proiectanţi investiţii : IPA, ISPE
Omologare : 1984 - 1986
Referinţe : TRC7, TRC8, Blocuri 50 MW, Casa Republicii etc.

1990 JUN 21



Sisteme distribuite pentru conducerea automată a proceselor tehnologice, inclusiv în energetică.

. DISTRIPROM — în fabricaţie la IPA
. SDC 2050 — şi Automatica
. SDCE - destinat centralelor termoelectrice ; în curs de asimilare
. Sistem cu regulatoare - monocanal — în curs de asimilare.

E 2039

EME

REFERÁLVA

MW

10

ZIUA ENERGETICIANULUI
15 octombrie 1989

R 1990 -04- 17

Cuprins

ISPE ~ ISPH

40 de ani de existență

DEZVOLTAREA SISTEMULUI ENERGETIC

MIHAI POP, LUCIAN LEFTER: **40 de ani de proiectare energetică** 433—444

PAUL EMIL RAȘCU, DINU VOINEA: **Aspecte semnificative în evoluția concepției de proiectare a stațiilor electrice din România** 445—457

ANCA POPESCU, GEORGE MANOLESCU, HERMINA ALBERT, GHEORGHE VÂLCEREANU, EMIL COSTIN, MIHAI SĂNDULESCU: **Preocupări actuale privind proiectarea dezvoltării Sistemului Energetic Național** 457—463

LIVIU GROZA, FLORENTINA MIHĂILESCU: **Evoluții recente și perspectiva legăturilor de interconexiune în curent continuu din Europa** 463—469

CENTRALE HIDROELECTRICE

DAN DOBRESCU, LIANA MARIA GOMBOȘIU: **Impactul amenajărilor hidroenergetice și hidrotehnice asupra mediului ambiant** 470—475

NICOLAE IORGULESCU, CONSTANTIN OPREA, SABIN BUDU: **Metode și tehnologii noi în activitatea de studii și cercetări pentru construcții energetice** 475—479

energetica

VOLUMUL XXXVII

BUCUREȘTI

OCTOMBRIE 1989

MINISTERUL ENERGIEI ELECTRICE
INSTITUTUL DE STUDII SI PROIECTĂRI ENERGETICE
ROMANIA, 72301 Bucureşti, sector 2, Bdul Lacul Tei nr. 1
Telegrame : ISPE-Bucureşti, telex : 10978 ispe r, telefon : 107080

The Institute for Power Studies and Designs, the specialized body of the Ministry of Electric Energy, carries out studies and designs required for the "development and for the economic and safety operation of the national power system.

It co-operates with foreign companies and organizations for specialized works and gives, on demand, all kind of engineering assistance in the power field and :

. draws up technical and final designs for thermal power plants, combined heat and power plants and thermal plants, substations and transformer posts, transmission electric lines

. carries out studies concerning power development and feasibility studies for power projects

. draws up current and long-term electrification plans for countries, regions and towns

. designs heat networks for urban and industrial purposes

. elaborates studies for establishing the power regime and safety operation

. elaborates methodologies and programmes concerning the planning and operation of the power system

. grants technical assistance in the field of analysis and programming.

1990 APR 2 5

ENERGETICA

ORGAN AL MINISTERULUI ENERGIEI ELECTRICE ŞI AL CONSILIULUI NAŢIONAL AL INGINERILOR ŞI TEHNICIENILOR DIN REPUBLICA SOCIALISTĂ ROMÂNIA

APARE SUB ÎNDRUMAREA CONSILIULUI ŞTIINŢIFIC AL INSTITUTULUI CENTRAL DE CERCETĂRI ENERGETICE

Anul 37 Nr. 10 octombrie 1989

ISPE ~ ISPH 40 de ani de existenţă

Dezvoltarea sistemului energetic

40 de ani de proiectare energetică

Dr. ing. MIHAI POP, dr. ing. LUCIAN LEFTER*

Descriptori: instalaţii şi sisteme energetice, proiectare

Lucrarea prezintă o analiză a proiectării în energetică, desfăşurată în ISPE şi ISPH, pe parcursul a 40 de ani de la înfiinţarea acestor două institute.

Întrucît evoluţia acestor două institute este strîns legată de dezvoltarea energeticii româneşti, evoluţia celor două domenii este prezentată în paralel. Printre problemele care se bucură de o atenţie deosebită se menţionează formarea şi dezvoltarea Sistemului Energetic Naţional, proiectarea centralelor termoelectrice, nuclearoelectrice şi hidroelectrice, precum şi a reţelelor electrice.

This paper makes an analysis of the design activity in the power field, activity held out in ISPE and ISPH ever since these two institutes were set up, that is in the last 40 years.

As the activity of these two institutes is closely connected to the development of the Romanian activity in the power field, the progress of these two fields of activity is often presented in parallel.

Special attention is paid to the building and development of the National Power System, the design of the thermal power plants, the hydropower plants and the nuclear power plants, as well as the electric networks.

Au trecut 40 de ani de cînd, la 3 martie 1949, prin Decizia nr. 657 din 1949 a Ministerului Industriei, se înfiinţa Institutul de Studii şi Proiectări Energetice. După crearea, în iulie 1949 a Ministerului Energiei Electrice şi al Industriei Electrotehnice, institutul a trecut în subordinea acestuia.

ISPE a fost creat la scurt timp după actul revoluţionar al naţionalizării industriei din anul 1948, care a creat condiţiile de trecere la dezvoltarea planificată a economiei naţionale. Prin această măsură, a fost constituit organul pentru asigurarea de studii şi proiecte necesare electrificării ţării şi care, alături de alte unităţi de construcţii-montaj energetic, a asigurat realizarea planurilor de electrificare a ţării.

În decursul timpului, forma de organizare a ISPE a suferit modificări, pentru a răspunde mai bine cerinţelor diferitelor etape de realizare a electrificării ţării, aşa cum se arată mai jos:

— la 1 ianuarie 1952, se transferă de la Intreprinderile Regionale de Electricitate (IRE) din ţară la ISPE, serviciile de studii şi proiectare, care au constituit Secţia Regională ISPE;

— la 1 ianuarie 1958, se desprind de ISPE unităţile de cercetare şi studii de teren şi laborator formînd Intreprinderea de Cercetări şi Studii Energetice (ICSE);

— la aceeaşi dată (1.01.1958) unităţile teritoriale din Secţia Regională ISPE se transferă din nou la unităţile teritoriale organizate între timp sub forma de energotrusturi;

— la 1 aprilie 1963 se înfiinţează Institutul de Studii şi Proiectări Hidroenergetice (ISPH), prin contopirea cu ICSE a colectivelor de proiectare hidroenergetică din ISPE.

În acest mod, întreaga activitate de studii şi proiectări energetice, desfăşurată de ISPE pînă în anul 1958, este acoperită din 1963, de două institute:

— Institutul de Studii şi Proiectări Energetice întocmeşte studiile necesare elaborării planurilor de electrificare în diferitele etape, studiile de dezvoltare şi funcţionare a sistemelor energetice, proiectele centralelor termoelectrice, ale liniilor şi staţiilor electrice pentru tensiuni mai mari de 110 kV;

— Institutul de Studii şi Proiectări Hidroenergetice întocmeşte studii de teren şi laborator pentru toate instalaţiile energetice, elaborează schemele de amenajare a cursurilor de apă şi proiectele centralelor hidroelectrice.

Pentru a se descentraliza o serie de activităţi şi a se apropia proiectarea de şantierele de

* Dr. ing. Mihai Pop—Institutul de Studii şi Proiectări Energetice, dr. ing. Lucian Lefter—Institutul de Studii şi Proiectări Hidroenergetice, Bucureşti.

construcții-montaj, ISPE și ISPH înființează filiale, astfel :

1973 — se înființează filiala ISPE Timișoara ;
1979 — filiala ISPH Timișoara ;
1983 — filiala ISPE Iași.

Numirea M.E.E. ca administrator unic al tuturor formelor de energie (1984) a dus la concentrarea unor activități de coordonare și intensificare a preocupărilor celor două institute în domeniile surselor noi și RER (ISPE) și al microhidrocentralelor (ISPH).

În anul 1985 ISPE a fost numit proiectant general pentru centrale nuclearoelectrice, organizîndu-se unități de specialitate pentru cuprinderea acestor activități.

Proiectele liniilor și stațiilor electrice pentru tensiuni de pînă la 110 kV se realizează în prezent în cadrul întreprinderilor locale de rețele electrice.

În cei 40 de ani de activitate s-a format o concepție proprie de rezolvare a problemelor energetice, perfecționată permanent prin metode și instrumente de calcul, în concordanță cu nivelul tehnic pe plan mondial, aplicate selectiv și creator la condițiile specifice țării noastre, în diferitele etape de realizare a Sistemului Energetic Național.

Constituirea și dezvoltarea sistemului energetic național

Situația energetică a României, în anul înființării ISPE, era deosebit de grea, putînd fi caracterizată prin următoarele date : puterea instalată în centralele electrice era 740 MW, fărîmițată în numeroase centrale de mică putere, neeconomice. Grupul de cea mai mare putere — 20 MW — era instalat în centrala Grozăvești. Centralele electrice existente erau interconectate doar local, astfel că lungimea liniilor electrice era redusă ; exista o singură linie de 110 kV în lungime de 127 km, restul fiind de tensiuni inferioare (60 kV, 20—30 kV, 6—10 kV).

Planul de electrificare de 10 ani (1951—1960), elaborat în ISPE, a stabilit direcțiile principale de dezvoltare a energeticii țării, și anume : concentrarea producției de energie electrică în centrale mari, cu randamente ridicate, crearea sistemului energetic național, amenajarea complexă a apelor, valorificarea rațională a resurselor energetice prin utilizarea combustibililor inferiori, electrificarea principalelor ramuri ale economiei naționale.

Pentru acoperirea creșterii rapide a consumului de energie electrică, studiile și proiectele elaborate de ISPE au urmărit :

— extinderea continuă a interconexiunii, la început regională și apoi, treptat, la nivel național, pentru utilizarea mai bună a capacităților existente în centralele electrice ;
— instalarea de noi grupuri în centralele electrice.

Ca rezultat, la sfîrșitul anului 1960, sistemul energetic național cuprindea toate zonele țării, liniile de 110 kV interconectînd cea mai mare parte a centralelor și a consumatorilor de energie electrică.

Producția de energie electrică a crescut între anii 1950 și 1960 de 3,65 ori, de la 2,1 la 7,6 miliarde kWh, puterea centralelor electrice crescînd de la 740 MW la 1780 MW, respectiv de numai 2,4 ori, ceea ce ilustrează creșterea gradului de utilizare a acestor centrale.

Această dotare de centrale și rețele electrice s-a amplificat permanent prin instalarea de noi grupuri de putere tot mai mare în centralele electrice și realizarea de linii și stații electrice de tensiuni tot mai ridicate.

Astfel, puterea totală instalată în centralele electrice a crescut la 3258 MW în 1965 și a depășit 20 000 MW în prezent, asigurînd o producție de energie electrică de 17,2 miliarde kWh în 1965 și, respectiv, de 75,2 miliarde kWh în 1988.

În anul 1963 s-a pus în funcțiune prima linie de 220 kV, dezvoltîndu-se treptat o rețea la această tensiune, iar din anul 1971 a început formarea rețelei de 400 kV.

Sistemul energetic al României s-a interconectat treptat cu sistemele energetice ale țărilor vecine pentru efectuarea de schimburi de energie electrică și întrajutorare reciprocă în cazuri de avarii. Astfel, în anul 1965 s-a realizat interconexiunea cu sistemele energetice deja interconectate ale țărilor socialiste, prin linia de 400 kV Iernut-Mukacevo, în anul 1967 prima interconexiune cu Bulgaria, în anul 1972 cu Iugoslavia, iar în anii 1986—1987 interconexiunea la 750 kV cu U.R.S.S. și Bulgaria.

Rețeaua electrică de transport (110—400 kV) a țării a ajuns în prezent să aibă peste 30 000 km, din care liniile la tensiunea de 400 kV reprezintă circa 5000 km.

Dezvoltarea în ritm atît de intens a sistemului energetic a necesitat, în cele două institute, în primul rînd, organizarea și dezvoltarea corespunzătoare a sectoarelor de proiectare pentru diferitele categorii de obiective energetice (se va descrie în detaliu în continuare). În același timp însă, a fost necesară organizarea unor activități de studii de sinteză pentru examinarea în ansamblu a sistemului energetic, sub aspectul optimizării, dezvoltării și funcționării sale.

Întrucît sistemul energetic național este destinat a alimenta cu energie electrică toate ramurile consumatoare, el trebuie să asigure această energie în cantitățile și la exigențele solicitate de consumatori. Din această cauză, orientările și cerințele întregii economii na-

ţionale se reflectă în concepţia de dezvoltare şi de exploatare a Sistemului Energetic Naţional, etapă de etapă, aşa cum se va ilustra în cele ce urmează.

Astfel, dezvoltarea economiei naţionale pe o bază planificată, în anii imediat următori celui de al doilea război mondial, a impus elaborarea în ISPE a unor ample studii de electrificare, concluziile respective stînd la baza planului decenal de electrificare a ţării, amintit mai sus. Pentru studiile astfel elaborate, de mare anvergură şi înaltă competenţă, ISPE a devenit laureat al premiului de stat pe anul 1950.

Crearea unor mari platforme industriale, ca urmare a industrializării în ritm intens a ţării, a pus problema satisfacerii optimizate a cerinţelor de energie electrică şi căldură. Acestea au constituit premisele de organizare a producerii combinate de energie electrică şi termică, prin termoficare, ulterior această soluţie extinzîndu-se şi la marii consumatori urbani de căldură.

Anumite dificultăţi în centralele electrice, la nivelul anilor 1961—1965, pentru alimentarea cu energie electrică a consumatorilor, au impus elaborarea unor metode mai corecte de prognoză a consumului de energie electrică şi de stabilire a necesarului de putere instalată în centralele termoelectrice şi hidroelectrice, stabilindu-se şi primele metode de calcul al puterii de rezervă pe diferite categorii.

Creşterea în continuare a exigenţelor în alimentarea consumatorilor, ca urmare a unor tehnologii industriale performante, a impus studii aprofundate privind siguranţa în alimentare a acestora şi a determinat organizarea unei preocupări specifice, fiabilitatea,sub conducerea prof. dr. doc. ing. Vasile Nitu. Acest nou domeniu s-a extins treptat, aplicîndu-se în prezent la toate componentele sistemului energetic naţional prin metode şi programe specifice.

Tot ca urmare a industrializării au apărut o serie de noi receptoare (laminoare, cuptoare, calea ferată electrificată etc.), care poluează electric reţelele sistemului energetic (şocuri, armonici, nesimetrii). Combaterea şi limitarea acestor fenomene a impus crearea unor activităţi specifice de studii, măsurători şi probe.

Recentele crize energetice, al căror efect a fost cu mult anticipat în ţara noastră, a accelerat politica de economisire a hidrocarburilor, prin intensificarea utilizării cărbunilor şi a amenajării resurselor hidro, trecîndu-se totodată la realizarea programului nuclear naţional.

Aceste mutaţii în energetica românească au avut ca efect, printre altele, scumpirea relativă a energiei electrice. Ca urmare, în studiile de optimizare a dezvoltării sistemului energetic au fost promovate, devenind mai economice, soluţiile cu pierderi mai reduse de energie electrică.

În paralel cu studiile de dezvoltare a sistemului energetic au apărut preocupări speciale pentru optimizarea funcţionării în ansamblu a sistemului energetic. Formarea unui sistem energetic naţional a impus realizarea unui sistem de conducere prin dispecer. În acest sens ISPE a elaborat, în mai multe etape, studiile de organizare şi dotare, precum şi proiectele pentru obiectivele concrete.

O serie de avarii de sistem au impus reconsiderarea automaticii de sistem, stabilind, pentru fiecare sursă, modul şi momentul de intervenţie în cazuri de avarii. De menţionat faptul că, în cadrul acestor secvenţe posibile ale regimurilor de perturbaţie, s-a avut în vedere asigurarea, cu orice preţ, a continuităţii în funcţionare a marilor platforme industriale. Aceasta a impus elaborarea de studii şi probe pentru fiecare asemenea mare consumator, stabilindu-se automatizările necesare pentru ca acesta să poată rămîne să funcţioneze „in extremis" pe sursele locale, cu eventualele sacrificii de consum (funcţionare insularizată).

Desigur că acestea sînt numai o parte din preocupările în domeniul studiilor de sistem care au direcţionat, de fiecare dată, principalele decizii energetice propuse de institute.

În cadrul acestor activităţi trebuie evidenţiat aportul dr. docent ing. Paul Dimo, membru corespondent al Academiei R.S.R., atît prin îndrumarea întregii activităţi de studii, cît şi prin elaborarea şi aplicarea teoriei analiza nodală — Dimo, soluţie originală românească, în prezent larg răspîndită şi implementată peste hotare.

În etapa actuală, pe lîngă continuarea preocupărilor anterioare, aduse însă la scara actualelor dimensiuni energetice (de exemplu studiile de interconectare şi de funcţionare stabilă se referă în prezent la toate sistemele energetice din ţările socialiste şi chiar din zona balcanică sau europeană) s-au dezvoltat noi activităţi, ca urmare a sarcinilor ce revin specialiştilor în energetică, dintre care se menţionează: implementarea în sistem a centralelor nucleroelectrice, optimizarea utilizării cărbunilor inferiori în centralele electrice, introducerea în circuitul comercial al surselor noi şi implementarea pe scară largă a RER-urilor etc.

Proiectarea centralelor termoelectrice şi nucleroelectrice

Una din activităţile principale ale ISPE o constituie proiectarea centralelor termoelectrice, de condensaţie şi de termoficare, a centralelor termice industriale şi a centralelor nucleroelectrice. În acest domeniu se pot distinge mai multe etape, caracterizate prin combustibilul utilizat, puterea unitară şi parametrii grupurilor, precum şi furnizorii echipamentelor principale, din ţară sau din import.

Datorită faptului că România dispune de resurse de energie primară variate, dar limitate cantitativ (cărbune — în special lignit, țiței, gaze naturale, energie hidraulică), s-a acordat o atenție deosebită folosirii lor raționale. În acest scop s-a urmărit ca pentru producerea energiei electrice să se utilizeze în special cărbunele inferior — lignitul și energia hidraulică, pentru a se putea valorifica superior și mai economic hidrocarburile în industrie ca materie primă și combustibil. În primele cincinale, însă, s-au realizat și numeroase centrale termoelectrice pe hidrocarburi, deoarece era necesar să se asigure un ritm rapid de creștere a producției de energie electrică — dublare la aproximativ cinci ani — pentru a putea asigura industrializarea țării; această linie a fost impusă și de necesitatea de a utiliza cît mai eficient fondurile de investiții disponibile, ținînd seama de faptul că centralele pe cărbune necesitau investiții mai mari și durate de construcții mai lungi decît cele pe hidrocarburi, iar ritmul de creștere al producției de lignit nu putea asigura cerințele. După Congresul al IX-lea al Partidului Comunist Român, accentul s-a pus pe utilizarea lignitului și a potențialului hidroenergetic al țării pentru producerea energiei electrice.

Pentru valorificarea cît mai eficientă a combustibililor s-a urmărit permanent mărirea puterii unitare și a parametrilor grupurilor instalate în centrale termoelectrice în scopul diminuării consumului specific de combustibil pe fiecare kWh produs. Aceasta s-a realizat în funcție de creșterea consumului de energie electrică și a gradului de interconexiune. Astfel, într-o primă etapă (1950—1954), s-au instalat grupuri de condensație din import pe cărbune brun de putere unitară similară cu grupurile cele mai mari existente și anume 12 MW în centralele Ovidiu II (3×12 MW), Comănești (2×12 MW) și 20 MW la Doicești (6×20 MW), cu parametrii aburului pînă la 6,3 MPa, 480°C. În perioada 1954—1959 s-au instalat grupuri cu puteri unitare mai mari, de 25—50 MW, cu parametrii aburului mai ridicați (9,8 MPa, 510°C), instalate în centralele Fîntînele, Borzești și Grozăvești, pe hidrocarburi și la Paroșeni pe cărbune. În continuare, s-au pus în funcțiune grupuri de condensație cu supraîncălzire intermediară cu puteri unitare de 100, 150 și 200 MW cu parametri de 13,7 MPa și 540°/540°C în centralele Fîntînele, Ludus, Borzești, Brăila pe hidrocarburi și în centralele Paroșeni, Deva și Ișalnița pe cărbune și lignit. Totodată, în centrala Ișalnița, în anii 1967—1968 s-au instalat primele grupuri de 315 MW cu parametrii aburului de 19,2 MPa și 540/540°C. Echipamentele principale ale acestor centrale electrice au fost importate în special din U.R.S.S. și R.S.C.S., iar grupurile de 315 MW din Franța, cu cazanul aferent din R.F.G.

Dezvoltarea economico-socială a României a dus la și creșterea consumului de energie termică a obiectivelor industriale concentrate pe platforme în apropierea localităților, precum și a consumatorilor urbani. Aceasta a impus producerea combinată a energiei electrice și termice, proces care duce la însemnate economii de combustibil și de investiții, îmbunătățește calitatea alimentării cu căldură și limitează poluarea mediului ambiant. Primele studii au fundamentat bazele teoretice necesare stabilirii agenților termici, parametrilor nominali ai acestora, regimul de livrare a căldurii, structura sistemelor de termoficare, adaptate la condițiile specifice țării noastre. Pînă în 1956 s-au realizat termoficări de nivel local la întreprinderi industriale din Brăila, Teleajen, Dărmănești, Făgăraș, Livezi, Ocna Mureș, precum și primele mici sisteme de încălzire a unor cartiere de locuințe din Reșița și Lupeni, folosind grupuri cu puteri de pînă la 6 MW fabricate la Reșița. Din anul 1957 s-au pus în funcțiune instalațiile experimentale de termoficare urbană din CTE Grozăvești în București, din CTE Borzești pentru orașul Gh. Gheorghiu Dej, de asemenea în orașul Hunedoara.

După anul 1960 termoficarea industrială și urbană a luat o mare dezvoltare, principalele sisteme de termoficare realizate fiind cele din București, Arad, Timișoara, Brad—Gura Barza, Reșița, Galați, Oradea, Pitești, Iași, Suceava, Brazi-Ploiești, Craiova, Constanța, Zalău, Buzău, Năvodari, Deva, Giurgiu, Valea Jiului, Rm. Vîlcea, Brăila, Drobeta-Tr. Severin, Tîrgoviște, Botoșani, Bacău.

Pentru orașul București s-a realizat cel mai complex sistem de termoficare caracterizat prin capacitatea sa de circa 5000 Gcal/h distribuită din cinci centrale, sistemul de transport și distribuție a energiei termice avînd lungimea de peste 600 km. Alimentarea cu căldură a 500 000 apartamente, 151 industrii și 260 ha de sere legumicole se face prin 1200 puncte termice.

Cea mai mare distanță de transport pentru apă fierbinte este de 20 km în sistemul de alimentare cu căldură din Valea Jiului, iar pentru abur de 10 km, în sistemul Brazi—Ploiești Sud.

Congresul al IX-lea al Partidului Comunist Român marchează și în domeniul energetic trecerea la dezvoltarea într-un ritm mai intens a energeticii țării și a gospodăririi judicioase a resurselor de energie primară.

Experiența mereu îmbogățită a proiectanților și organizarea corespunzătoare a tuturor compartimentelor de specialitate ale ISPE au permis proiectarea integrală, cu forțe proprii, a tuturor componentelor centralelor termoelectrice, caracterizate printr-o mare varietate, complexitate și tehnicitate.

S-a stabilit un palier de putere unitară a grupurilor termoenergetice de condensație de

330 MW, cu parametri superiori ai aburului și supraîncălzire intermediară a aburului (19,2 MPa, 540/540°C), a unei game de grupuri cu puteri pînă la 50 MW, pentru termoficare industrială și de 120/150 MW cu supraîncălzire intermediară pentru termoficare urbană, fabricate de industria noastră constructoare de mașini. Primul grup de condensație de 330 MW, cu cazanul aferent de 1030 t/h pe lignit, s-a pus în funcțiune la CTE Rovinari în 1977, iar pe hidrocarburi la CTE Brăila în 1979. Primul grup de 50 MW de termoficare, cu cazanul aferent de 420 t/h pe hidrocarburi, s-a instalat în anul 1970 la CTE Govora, iar pe lignit în anul 1981, la CET Borzești. Primul grup de 120/150 MW, cu cazanul aferent de 525 t/h s-a pus în funcțiune la CET Palas în anul 1979, iar pe lignit în anul 1988, la CET Craiova II. Anul acesta se va pune în funcțiune al 12-lea grup de 330 MW pe lignit. Grupurile de 50 MW pe lignit echipează centralele de termoficare Borzești III, Suceava, Govora, Pitești, Giurgiu, Tr. Severin.

Puterea instalată în centralele termoelectrice a crescut de la 680 MW în 1950 la 2797 MW în 1965, atingînd peste 15700 MW în 1988, producția de energie electrică crescînd de la 1,9 miliarde kWh, în anul 1950, la 16,2 miliarde kWh, în anul 1965, și 61,5 miliarde kWh, în anul 1988. Grupurile de termoficare care asigură o valorificare superioară a combustibilului totalizează în prezent o putere de peste 5800 MW. Programul de instalări de noi grupuri de termoficare, funcționînd pe lignit, prevede, pentru anii 1989 și 1990, punerea în funcțiune a 770 MW în centralele Arad, Brașov, Tg. Jiu, Slatina, Bacău, Timișoara.

Economia de combustibil realizată în prezent prin conducerea combinată a energiei electrice și termice față de producerea lor separată depășește 3 milioane t c.c.

Cele mai mari centrale realizate pe cărbune sînt : CTE Turceni care anul acesta va atinge profilul final de 2640 MW (8×330 MW), CTE Rovinari 1740 MW (2×200 MW $+ 4 \times$ $\times$ 330 MW), CET Işalnița 1035 MW (din care, 405 MW în grupuri de termoficare și 2×315 MW în condensație), toate utilizînd lignit și CTE Deva 1260 MW (6×210 MW) funcționînd pe mixte și șlam de huilă.

Pe hidrocarburi, cele mai mari centrale sînt : CTE Brăila 960 MW (3×210 MW $+ 1 \times$ $\times 330$ MW grupuri de condensație), CTE Luduș 800 MW (4×100 MW $+ 2 \times 200$ MW, grupuri de condensație), CET Brazi 910 MW (din care 510 MW în grupuri de termoficare și 2×200 MW grupuri de condensație), CET Borzești 755 MW (din care 335 MW în termoficare și 2×210 MW grupuri de condensație), București Sud 550 MW în grupuri de termoficare.

Dezvoltarea centralelor termoelectrice a marcat, odată cu creșterea puterii unitare a grupurilor, și ridicarea parametrilor aburului viu și un progres continuu în concepția generală a centralei.

Pentru centralele la care echipamentele principale inițial erau importate (primele termocentrale cu grupuri mici, precum și CTE Luduș, CET Brazi, CET Borzești, Işalnița $2 \times$ 315 MW, București Sud și altele) și la care furnizorul livra documentația acestora, ISPE a efectuat studiile de teren și planul general al centralelor, proiectarea părții de construcție, alimentările cu apă, turnurile de răcire, coșurile de fum și gospodăriile de combustibil. La centralele cu echipamente fabricate în țară, proiectarea întregii părți termomecanice electrice, automatizări și construcții a fost asigurată de ISPE.

La centralele de condensație echipate cu grupuri de 330 MW, precum și la grupurile de termoficare de 120/150 MW se folosesc în prezent cazane cu circulație forțată unică, iar la grupurile de termoficare de 50 MW, cazane cu circulație naturală.

Turbinele cu abur sînt, preponderent, cu acțiune, industria românească realizînd în prezent grupuri de 330 MW pentru centralele de condensație și o gamă largă de grupuri de 3—120 MW pentru centrale de termoficare cu consum termic industrial sau pentru încălzire.

Creșterea parametrilor aburului și folosirea supraîncălzirii intermediare a dus la utilizarea schemei bloc în centralele de condensație, echipate cu grupuri de puteri unitare mici.

La centralele de termoficare cu consum preponderent industrial se folosește soluția cu o conductă de legătură, secționată longitudinal în cel puțin două segmente. La aceste centrale numărul cazanelor de abur este, de regulă, mai mare sau egal cu trei.

La centralele de termoficare cu consum de încălzit, cu grupuri de 120 MW, schema este bloc. La aceste centrale pe cărbune, coeficientul de termoficare este 0,2—0,4, cu o capacitate mai mare de livrare de căldură din cazanele de apă fierbinte decît din grupuri, acestea constituind și rezervă în afara vîrfului.

În vederea asigurării platformelor industriale, în cazul căderii sistemului energetic național, la proiectarea schemelor termice și electrice s-a avut în vedere posibilitatea desprinderii centralei de sistem și asigurarea insulară cu energie electrică a platformei.

Dispoziția agregatelor urmărește realizarea legăturilor tehnologice cît mai scurte, limitarea spațiilor de deservire și circulație și obținerea în ansamblu a unei soluții cît mai economice.

S-a trecut la amplasarea unor echipamente în aer liber. În prezent se închide numai frontul de deservire și în unele cazuri și partea superioară a cazanelor, restul aflîndu-se în aer liber.

S-au amplasat în exterior cazanele de apă fierbinte, degazoarele, stațiile de pompe de termoficare.

ISPE a contribuit, alături de industriile de specialitate, la modernizarea echipamentelor din centralele termoelectrice, prin promovarea unor noi soluții tehnologice, ca :

— îmbunătățirea sistemului de ardere a cărbunilor și introducerea grătarelor de postardere ;
— îmbunătățirea sistemului de preparare și transport al prafului de cărbune ;
— modernizarea cazanelor de 1035 t/h prin coborîrea echipamentelor auxiliare de la cota +90 m (soluția Rovinari) la cota ± 0,0 m (soluția Turceni) ;
— asimilarea conductelor de înaltă presiune, a armăturilor și a pieselor fasonate aferente ;
— reducerea construcțiilor și amplasarea în aer liber a unor echipamente ;
— modernizarea echipamentelor electrice de 0,4 și 6 kV, precum și a aparaturii de automatizare ;
— introducerea calculatoarelor de proces în centrale.

Schemele electrice ale centralelor termoelectrice au urmat soluții clasice, încadrîndu-se, conform practicii mondiale, în două mari grupe :

— la CTE de puteri mici și CET s-au folosit scheme cu bare colectoare la tensiunea generatorului, secționate sau nesecționate ;

— la centralele bloc de mare putere schema electrică este bloc generator—transformator, cu două sau trei înfășurări, cu sau fără întrerupător la bornele generatorului, cu derivație pentru alimentarea serviciilor proprii, cu stații pentru interconexiune și distribuție în incinta centralei sau la distanțe determinate de evitarea poluării izolației.

S-a colaborat permanent cu industria de profil pentru obținerea de serii unitare de noi produse cu parametri tehnici superiori și stabilirea, pe parte electrică, de sisteme care să înglobeze elemente ale tehnicii de vîrf, ceea ce a permis realizarea unui grad ridicat de tipizare a proiectării.

Circuitele secundare au fost tratate în strînsă legătură cu cerințele sistemului energetic, ale consumatorilor și ale părții tehnologice și de automatizare.

Dotarea camerelor de comandă a urmat evoluția celorlalte instalații din centrală, prin compactarea circuitelor și utilizarea aparatelor și modulelor miniaturizate. Odată cu adoptarea schemelor bloc s-a trecut la organizarea de camere diversificate : cameră de bloc (de regulă una la două blocuri), cameră de dispecer afectată uneori și serviciilor proprii, cameră de comandă electrică pentru stații.

Construcțiile aferente centralelor termoelectrice au caracter tehnologic, fiind proiectate în conformitate cu cerințele de instalare și exploatare ale echipamentelor.

Pentru reducerea suprafețelor de teren și a consumului de materiale de construcție, s-a urmărit permanent comasarea construcțiilor și reducerea suprafețelor construite prin dispunerea judicioasă a echipamentelor și amplasarea unora în aer liber. Pentru obținerea unei eficiențe ridicate în realizarea construcțiilor (scurtarea duratei de execuție, creșterea productivității muncii, economisirea materialului lemnos) s-a trecut la utilizarea în măsură tot mai mare a prefabricatelor de beton armat, precum și la turnarea betonului armat monolit prin glisare sau pășire la coșuri de fum, turnuri de răcire și structuri plane.

În situația amplasamentelor cu grad ridicat de seismicitate s-au luat măsuri speciale privind dimensionarea structurilor, soluții verificate la seismele din 1977 și 1986.

O exemplificare a amploarei luate în domeniul construcțiilor de termocentrale o constituie sala cazanelor la CTE Rovinari, avînd dimensiunile în plan 240 m × 50 m și înălțimea de 120 m.

Concepția fundațiilor turboagregatelor a evoluat de la fundații masive supraacordate spre fundații în cadre mai suple, subacordate. Soluții deosebite de fundații s-au impus la CET Năvodari (fundarea grupului de 50 MW rezemată pe arcuri), fundațiile montor de la CTE Rovinari și Turceni ș.a.

Coșurile de fum au evoluat atît ca soluție constructivă, cît și ca înălțime, odată cu creșterea puterii centralelor și necesitatea dispersării noxelor. De la coșuri de 80—100 m înălțime cu izolație termică și anticorosivă s-a ajuns la coșuri de 280 m înălțime, în soluție modernă „coș în coș" cu spațiu vizitabil.

Din anul 1975 în activitatea de proiectare a construcțiilor termoenergetice au apărut două preocupări importante și anume : introducerea proiectării asistate de calculator și urmărirea comportării în timp a construcțiilor.

Un pas calitativ important în evoluția proiectării construcțiilor a fost marcat de organizarea activității de tipizare orientată în special asupra centralelor de termoficare cu grupuri de 50 MW funcționînd pe lignit, acțiune justificată prin gradul mare de repetabilitate al acestor obiective. Asemenea proiecte s-au aplicat la CET Brașov, Pitești, Bacău, Slatina, Tg. Jiu, Drobeta-Tr. Severin.

Proiectarea gospodăriilor de cărbune a marcat o treaptă superioară de complexitate față de centralele anterioare, odată cu realizarea marilor centrale utilizînd lignit de suprafață, datorită cantităților mari de cărbune necesare — pînă la 2400 t/h, calității variabile a cărbunelui, necesității eliminării corpurilor străine și dezghețului în perioada de iarnă. ISPE a elaborat condițiile tehnice și temele de pro-

iectare pentru principalele utilaje tehnologice necesare acestor mari gospodării de cărbune — mașini de preluare prin roată cu cupe și măsuri combinate, grătare cu bare rotative și concasoare cu ciocane articulate, transportoare cu bandă de cauciuc, separatoare electromagnetice de bandă, instalații de culbutare a vagoanelor, tunele de dezgheț și altele.

Noile scheme de gospodării de cărbune elaborate de ISPE se caracterizează prin orientarea perpendiculară a depozitului de cărbune pe frontul cazanelor, asigurind alimentarea directă a cazanelor, depozitarea întregii cantități de cărbune consumate de centrală în scopul omogenizării cărbunelui, asigurarea rezervelor necesare în estacade, linii de concasare și benzi transportoare.

ISPE a elaborat proiecte tip de gospodării de cărbune cu capacități de transport, preparare și depozitare de 1200 t/h și 600 t/h, concepute pentru alimentarea cu cărbune a unor centrale de termoficare echipate cu 4×50 MW, respectiv 4×12 MW.

La proiectarea circuitelor de răcire ale termocentralelor s-a urmărit, odată cu optimizarea producției de energie, și gospodărirea rațională a apei; ținind seama de regimul hidrologic al riurilor din țara noastră s-a trecut la adoptarea schemelor de răcire preponderent în circuit mixt.

Pentru realizarea schemelor de răcire a fost proiectat un număr foarte mare de lucrări hidrotehnice — prize de apă cu baraj pînă la 100 m^3/s, console deschise cu lungimi pînă la 20 km, conducte din beton armat și metal cu diametre de pînă la 3600 mm, turnuri de răcire pînă la 42 000 m^3/h, de 115 m înălțime și 90 m diametru.

Pentru evacuarea și depozitarea a mai mult de 10 milioane de tone cenușă anual, rezultată din arderea cărbunelui în centralele termoelectrice, se proiectează curent depozite de 40 m și 60 m înălțime, ceea ee conduce la economii importante de teren.

Trebuie arătat că, la formarea unei concepții proprii în proiectarea centralelor termoelectrice, adaptată condițiilor specifice din România, un rol esențial l-au avut specialiștii din primii ani de activitate a ISPE și care, pe parcurs, au contribuit atit la perfecționarea acestei concepții, cit și la formarea unor noi generații de specialiști. Dintre aceste prime cadre, de mare competență profesională în domeniul centralelor termoelectrice, trebuie menționat în primul rînd prof. emerit Constantin Dinculescu, membru corespondent al Academiei R.S.R., mulți ani inginer-șef și apoi director al ISPE, și care a avut un rol esențial în formarea și dezvoltarea ISPE, atit sub aspect profesional, cit și organizatoric. De asemenea, trebuie menționați și regretații specialiști Constantin Rotaru, inginer termoenergetician de înaltă competență profesională, ing. constructor Oscar Nedelcu, care a pus bazele proiectării moderne a construcțiilor termoenergetice, arhitect Traian Doicescu, cel care a împletit elementul util cu cel estetic în construcția centralelor termoelectrice, precum și mulți alții și care, fiecare în parte, și-au adus o contribuție într-un domeniu atit de complex și de mare importanță în economia națională.

Încă de la primele planuri cincinale, Partidul Comunist Român a stabilit, ca obiectiv de bază, începerea pregătirilor pentru utilizarea energiei nucleare în scopul producerii energiei electrice. Această sarcină, de mare răspundere, a determinat, în ISPE, organizarea unui colectiv de energetică nucleară încă din perioada 1955—1960. În prima sa fază de activitate, colectivul a analizat realizările și proiectele pe plan mondial în acest domeniu. Ulterior, activitatea colectivului s-a concentrat asupra modului de realizare a obiectivelor nucleare în condițiile specifice din țara noastră. Aceasta a necesitat amplificarea colectivului cu diferite specialități, el devenind astfel o secție de bază din ISPE. În cadrul acestei activități s-au elaborat toate documentațiile privind realizarea primei centrale nuclearoelectrice de la Cernavodă, centrală care, în etapa finală, va fi echipată cu cinci unități CANDU de cîte 700 MW fiecare.

O asemenea lucrare, de mari proporții, a antrenat aproape întreaga masă de salariați din ISPE și anume, în proporție de 40% în regim permanent de lucru și o alta, de circa 50%, în mod temporar.

În scopul pregătirii corespunzătoare a acestui complex proces de proiectare s-au luat o serie de măsuri organizatorice și de pregătire a personalului, dintre care se menționează cele mai importante:

— implementarea noilor proceduri de control al calității, specifice activității în domeniul nuclear;

— școlarizarea a peste 1000 de cadre superioare și medii, pe probleme nucleare, în colaborare cu specialiștii din Institutul Politehnic București;

— formarea, în funcție de necesități, de colective specializate, pe anumite probleme specifice nucleare și organizarea unui colectiv central de conducere a activității nucleare;

— intensificarea proiectării asistată de calculator și informatizată a unor noi domenii, corelat cu dotarea corespunzătoare cu mijloace de calcul a tuturor colectivelor de proiectare;

— urmărirea pe calculator a activității de elaborare și gestiune a proiectelor;

— reconsiderarea modului de urmărire a lucrărilor pe șantier și de exercitare a controlului de autor.

Printre soluțiile de mare eficiență și tehnicitate, proiectate de ISPE, la acest prim și important obiectiv nuclear, se menționează :

— instalațiile tehnologice din circuitul termic al unității nucleare CANDU 700 ;

— instalațiile hidrotehnice de o mare amploare ;

— soluțiile constructive specifice pentru calificările seismice impuse clădirilor.

Cerințele și exigențele deosebite care se impun unui asemenea obiectiv în ceea ce privește siguranța în exploatare au impus o tratare deosebită a problemelor de calcul și proiectare pentru partea de construcții, ținînd seama de normele de proiectare din domeniul nuclear, utilizate pe plan mondial. Astfel, pentru calculul seismic s-au utilizat în paralel două metodologii distincte, ceea ce a permis controlul convergenței rezultatelor.

În continuarea preocupărilor de proiectare a obiectivelor energetice nucleare, în prezent se derulează studiile necesare pentru fundamentarea elementelor necesare proiectării altor obiective componente ale programului nuclear național.

Proiectarea centralelor hidroelectrice

Una din principalele sarcini care a revenit ISPE și apoi ISPH a fost evaluarea potențialului hidroenergetic al țării. S-a plecat de la o serie de studii elaborate în perioada anterioară celui de-al doilea război mondial de către profesorii Dorin Pavel, Cristea Mateescu, Dimitrie Leonida și alții, ajungîndu-se la o activitate susținută de recunoaștere de teren, organizarea unei rețele hidrometrice, efectuarea de studii geologice și geotehnice, efectuarea de ridicări topografice etc. Ca rezultat al acestei activități se cunosc astăzi resursele hidroenergetice ale țării (macro și micropotențial), care însumează circa 40 miliarde kWh/an. Valorificarea sistematică a acestui potențial a început în anul 1950, odată cu primul plan de electrificare. La acea dată utilizarea potențialului hidroenergetic era neînsemnată, puterea tuturor centralelor hidroelectrice însumînd 60 MW. Cea mai mare centrală hidroelectrică, CHE Dobrești, avea o putere instalată de 16 MW. Din anul 1950 pînă în prezent s-au proiectat și realizat în țară : CHE de derivație de mare cădere în zona de munte ; CHE de medie și joasă cădere în cascadă pe cursul mijlociu și inferior al rîurilor și amenajări fluviale pe Dunăre. La stabilirea schemelor de amenajare și a parametrilor energetici ai centralelor hidroelectrice s-au avut în permanent în vedere următoarele :

— utilizarea maximă a potențialului hidroenergetic prin scheme care prevăd amenajarea integrală a rîurilor ;

— utilizarea complexă a resurselor de apă ale țării atît pentru producția de energie electrică, cît și pentru alte folosințe ale apei, în special pentru alimentări cu apă potabilă și industrială, irigații, precum și pentru atenuarea viiturilor ;

— valorificarea superioară a energiei hidraulice ținînd seama de posibilitatea centralelor hidroelectrice de a putea prelua sarcinile variabile ale sistemului energetic și de a participa la reglajul frecvență-putere ;

— constituirea unor rezervoare de energie prin includerea în schemele de amenajare, acolo unde condițiile naturale sînt favorabile, a unor mari acumulări care să constituie importante rezervoare de energie la care se poate apela pentru orice intervenție rapidă.

Aceste principii au fost aplicate la toate centralele proiectate. Astfel, la amenajările de mare cădere din zona de munte s-au inclus în schemele de amenajare mari lacuri de acumulare pentru regularizarea debitelor, ele necesitînd dezafectări mult mai reduse în comparație cu lacurile de pe cursul mijlociu și inferior al cursurilor de apă. În aceste acumulări, pentru creșterea eficienței economice, s-a prevăzut devierea debitelor afluenților secundari pentru concentrarea potențialului hidroenergetic în centrale mai puține ca număr, dar de putere mai mare. În proiectarea amenajărilor de medie și joasă cădere s-au avut în vedere în primul rînd cursurile de apă la care pe cursul superior s-au realizat mari lacuri de acumulare, centralele beneficiind de regularizarea debitelor realizată în amonte.

În perioada 1951—1960 s-au pus în funcțiune CHE la nivelul celor existente : Moroieni — 15 MW, Crăinicel — 8,7 MW, Sadu V — 15 MW. La această ultimă amenajare, barajul de beton în arc de la Negovanul a reprezentat o premieră națională.

Realizarea CHE V. I. Lenin — 210 MW de pe rîul Bistrița a constituit un adevărat examen al școlii românești de hidrotehnicieni, atît pentru cercetare și proiectare, cît și pentru execuția de construcții hidroenergetice. Au urmat apoi alte CHE cu mari lacuri de acumulare în zona de munte : Argeș — Gh. Gheorghiu Dej 220 MW, Lotru — Ciunget 510 MW, Someș — Mărișelu 220 MW, Sebeș — Gîlceag 150 MW și Șugag 150 MW, Drăgan — Remeți 100 MW, Rîul Mare — Retezat 335 MW. În aval de aceste amenajări s-au realizat cascade de joasă și medie cădere pe Bistrița, Argeș, Lotru, Someș, Sebeș, Drăgan, Rîul Mare și altele. O pondere însemnată în producția de energie electrică o are cascada de pe rîul Olt, amenajată în prezent de la Gura Lotrului pînă aproape de Dunăre, totalizînd o putere de peste 700 MW.

După încheierea lucrărilor în construcție și a celor aprobate Oltul va fi amenajat de la Hoghiz la Dunăre, totalizînd o putere de peste

1100 MW și o productibilitate medie anuală de circa 2,8 miliarde kWh. Pe Dunăre s-a realizat în colaborare cu R.S.F. Iugoslavia SHEN Porțile de Fier I — 1050 MW și Porțile de Fier II — 216 MW pentru partea română, care amenajează sectorul comun al Dunării.

Realizarea tuturor acestor amenajări a necesitat construirea a numeroase uvraje de deosebită tehnicitate, remarcabile prin parametrii lor și prin volumele de lucrări executate. Astfel, s-au realizat baraje de diferite tipuri, corespunzător condițiilor naturale morfologice și geologice, ca: barajul Izvorul Muntelui pe Bistrița, de tipul de greutate, înalt de 127 m și cu un volum de 1 625 000 m³ beton, barajul în arc Vidraru de 167 m înălțime, barajul de anrocamente cu miez de argilă Vidra—Lotru de 121 m înălțime, cel de anrocamente cu mască de beton Fîntînele—Someș de 102 m înălțime, este în stadiul final de construcție barajul de anrocamente de pe Rîul Mare de 185 m înălțime etc. De asemenea, s-au realizat numeroase centrale subterane, sute de kilometri de canale, diguri, zeci de centrale supraterane, ecluza de la SHEN Porțile de Fier I care se înscrie printre realizările remarcabile pe plan mondial.

În fabricarea hidroagregatelor s-au obținut progrese notabile. Astfel, dacă primele grupuri de turbine Pelton instalate la CHE Moroieni și Sadu V au fost importate, grupurile pentru CHE Lotru — Ciunget au fost fabricate de ICM Reșița în cooperare cu firmele franceze Alsthom și Neyrpic. Aceste turbine, de 170 MW la căderea de 806 m, sînt remarcabile pe plan mondial prin parametrii lor.

Hidroagregatele cu turbine Francis de mare putere pentru CHE V. I. Lenin — Bicaz și Argeș — Gh. Gheorghiu Dej erau de fabricație cehoslovacă. La amenajările următoare de pe Someș — CHE Tarnița și Mărișelu — s-au instalat primele hidroagregate cu turbine Francis proiectate și fabricate integral în țară. Asimilarea concepției și a fabricației grupurilor cu turbina Francis de mare putere a făcut ca toate amenajările realizate ulterior să fie echipate cu turbine proiectate și realizate în țară. Dintre acestea se remarcă grupurile CHE Rîul Mare—Retezat avînd 167 MW la căderea de 582 m.

În domeniul turbinelor Kaplan, amenajările de joasă cădere de pe rîurile interioare au fost realizate integral în țară încă de la primele amenajări (cascada Bistrița aval). Cu tot caracterul de unicat al amenajărilor hidroelectrice, prin proiectare s-a urmărit să se atenueze efectul condițiilor naturale prin tipizarea debitelor și căderilor, ceea ce a permis o largă reutilizare a turbinelor. Astfel, cele 175 turbine Kaplan instalate sau în curs de instalare în CHE sînt numai de 10 tipodimensiuni.

Cele 24 de turbine de pe rîul Bistrița sînt de 4 tipodimensiuni caracteristice, cele 40 de turbine de pe rîul Argeș inferior tot de 4 tipodimensiuni, cele 18 turbine de pe Rîul Mare aval de 2 tipodimensiuni, iar cele 34 turbine de pe Oltul mijlociu de 3 tipodimensiuni.

Turbinele Kaplan de la Porțile de Fier I dețin și în prezent mai multe recorduri pe plan mondial, deși s-au fabricat în 1969, și anume:

— locul I în privința puterii unitare (183 MW);

— locul I în privința raportului P/n (183 MW/71,5 rot/min);

— locul II în privința diametrului rotorului.

La proiectarea și fabricarea acestor turbine s-a cooperat cu fabrica LMZ din U.R.S.S., care a livrat trei bucăți, celelalte trei fiind fabricate în țară la ICM Reșița.

Pentru reducerea investiției amenajărilor de joasă cădere s-au instalat grupuri bulb de concepție proprie, pe rîurile interioare la CHE Slatina — Olt și Petrești — Sebeș. Pentru centrala Porțile de Fier II s-a asimilat, în cooperare cu LMZ, fabricarea unui grup bulb de mare putere (27 MW) cu diametrul rotorului de 7,5 m. Pentru cascada de pe Oltul inferior, între Slatina și Dunăre, cele 5 CHE sînt echipate cu grupuri bulb reversibile, cele 20 de turbine avînd aceeași tipodimensiune.

În prezent, datorită experienței căpătate de organizațiile de proiectare, de fabricile constructoare de echipamente și de întreprinderile de execuție, realizarea amenajărilor hidroenergetice nu mai necesită nici un fel de import.

Ca rezultat al amplului program de valorificare al potențialului hidroenergetic, a crescut continuu producția de energie hidroelectrică. Un moment de referință în utilizarea acestei bogății naturale a țării noastre l-a constituit Congresul al IX-lea al Partidului Comunist Român. Astfel, în perioada 1950—1965, puterea CHE a crescut de la 60 MW la 461 MW, iar producția de energie hidroelectrică de la 169 milioane kWh la 1005 milioane kWh. La 10 ani după Congresul al IX-lea, în 1975, puterea CHE ajunsese la 2632 MW, iar producția lor la 8711 milioane kWh, pentru ca la sfîrșitul anului 1988 să fie de circa 5400 MW și 13,7 miliarde kWh/an.

În ultimii ani s-a acordat o atenție deosebită valorificării micropotențialului hidroenergetic, evaluat în prezent la 1300 MW cu o productibilitate medie de circa 3,5 miliarde kWh. La sfîrșitul anului 1988 erau în funcțiune 215 microhidrocentrale sub 200 kW și CHE de mică putere (între 200 kW și 3600 kW), totalizînd 140 MW și o productibilitate anuală de 480 milioane kWh/an.

Sînt în execuție 101 centrale totalizînd 87 MW și 260 milioane kWh/an.

Activitatea de studii și laborator pentru obiectivele energetice s-a dezvoltat prin constituirea unor colective specializate în probleme

specifice. Aceste colective, în strînsă colaborare cu colectivele de proiectare, au reușit să-și diversifice tehnicile specifice de investigație contribuind la fundamentarea documentațiilor de proiectare pentru centralele hidro și termoelectrice, a liniilor de transport și în ultima perioadă și pentru centralele nucleare. O activitate susținută s-a desfășurat și în cadrul laboratoarelor de construcții și de hidraulică, obținîndu-se o serie de rezultate remarcabile în studiul termicității betoanelor, folosirea materialelor inerte și de înlocuitori ai cimentului, precum și în întocmirea unor modele pentru principalele tipuri de descărcătoare de la baraje, disipatoare de energie, prize și goliri de fund, ecluze etc.

Proiectarea rețelelor electrice

Pe baza planurilor de dezvoltare economică și socială a țării de după cel de-al doilea război mondial, în jurul anului 1950 se înregistrează primele creșteri de consum mai substanțiale pe teritoriul țării. Aceasta a generat, paralel cu lucrările de refacere în centralele electrice și cu instalarea primelor grupuri generatoare, realizarea unor prime linii și stații de transformare.

Primele rețele electrice au avut un caracter local, urmărind în principal eliminarea unor strangulări în zonele respective. În această categorie se menționează punerea în funcțiune a unor linii la tensiunea de 60 kV. Din aceste noi rețele de 60 kV fac parte linia Grozăvești — Giurgiu — Russe, cu stațiile de 60 kV Grozăvești și Giurgiu, instalarea primului cablu de 60 kV de traversare a Dunării și realizarea primei interconexiuni internaționale, la 60 kV, cu Bulgaria, liniile de 60 kV Urlați — Buzău, Zlatna — Sebeș, Sibiu — Mîrșa — Victoria, Grozăvești — Tîncăbești etc.

În acest sens are o deosebită importanță prima linie de 110 kV proiectată și construită cu personal din țară, pe distanța Brașov — Azuga. Realizarea acestei linii a reprezentat începutul formării concepției proprii de proiectare a liniilor electrice aeriene care, odată cu înființarea și organizarea ISPE, s-a finalizat și concretizat în acte normative și în numeroase alte linii electrice de transport.

Organizarea electrificării țării a impus, printre altele, stabilirea unor trepte de tensiune în care au fost incluse valorile: 6 kV, 10 kV, 15 kV, 35 kV, 110 kV și 220 kV.

Primele lucrări ISPE în domeniul rețelelor electrice s-au referit la cele din zona canalului Dunăre — Marea Neagră prin numeroase linii și stații de 35 kV.

În paralel cu aceste lucrări se elaborează primele „magistrale" de transport ale țării, cum ar fi liniile de 110 kV Moroieni — Brașov, Doicești — Fundeni, Doicești — Pătroaia, Fintinele — Brașov, prin care se realizează interconectarea sistemelor energetice Ardeal și Muntenia etc.

Pe baza experienței dobîndite în proiectarea primelor linii de 110 kV s-a trecut la realizarea altor noi linii similare și care, în deceniul 1951—1960, au constituit structura de bază a rețelei de transport.

În anii 1961—1962 a apărut necesitatea realizării unei legături puternice Moldova — Transilvania. În anul 1963 se construiește linia 220 kV Bicaz — Sîngeorgiu prelungită ulterior pînă la Luduș. Noua treaptă, de 220 kV, se justifica din punctul de vedere al perspectivei energetice și era favorizată de asimilarea în țară a echipamentelor de 220 kV.

Dezvoltarea intensă a consumului de energie electrică, îndeosebi în perioada 1961—1970, a grăbit realizarea unor prime linii de 400 kV, cu funcționarea inițială la 220 kV, cum ar fi Luduș — Mukacevo — Lemeșany, trecută în anul 1965 la 400 kV, Slatina — București-Sud, Slatina — Luduș, Sibiu — Brașov, București Sud — Gura Ialomiței, Porțile de Fier — Slatina, linii care au fost trecute la 400 kV în etapele următoare.

Ca urmare a convenției de realizare a unor noi interconectări cu U.R.S.S. și R.P.B., în anii 1986 și 1987 se realizează și se pune în funcțiune prima linie de 750 kV, care constituie și astăzi cea mai înaltă tensiune de exploatare folosită pe plan mondial. Această linie a fost construită integral în concepție și cu forțe românești.

Sub aspectul soluțiilor constructive, trebuie arătat că, în concordanță cu practica mondială și cu cerințele economiei naționale, încă din primii ani de electrificare s-a trecut la utilizarea conductoarelor de oțel-aluminiu în locul celor de cupru. Ca secțiune a conductoarelor studiile efectuate în aceeași perioadă de început au stabilit următoarele valori pe fază:

— 1×185 mm² OL — Al, la 110 kV;
— 1×450 mm² OL — Al, la 220 kV;
— 2×450 mm² OL — Al, la 400 kV.

După anul 1980, ca urmare a creșterii relative a prețului energiei electrice față de costurile realizării liniilor s-au reconsiderat, în noile condiții, soluțiile folosite anterior, în principal sub următoarele aspecte:

— restringerea utilizării treptei de 220 kV și înlocuirea dublei transformări de tipul 400/220 kV și 220/110 kV prin transformarea directă de 400/110 kV;

— reconsiderarea secțiunii prin mărirea acesteia la liniile de 110 kV (1×240 mm² OLAl) și 400 kV (3×300 mm² OLAl sau chiar 3×450 mm² OLAl). În acest mod, prin creșterea secțiunii se reduc pierderile de energie electrică, atît cele datorită fenomenului de încălzire, cît și cele datorită efectului corona.

Una din preocupările de bază ale proiectanților de linii s-a referit la optimizarea realizării

stîlpului în condiţiile de eficienţă impuse de economia naţională.

Astfel, după unele realizări de linii, la început la tensiunea de 60—110 kV, pe stîlpi din lemn, în anii 1952—1954 se pune la punct realizarea stîlpilor din beton armat centrifugat pentru tensiunile de pînă la 110 kV inclusiv. Stîlpii speciali şi cei cu tensiuni de peste 110 kV s-au realizat din laminate de oţel.

Pe parcurs, s-au adus o serie de îmbunătăţiri la aceste construcţii metalice, prin mai multe căi, cum ar fi :

— noi concepţii în realizarea stîlpilor (de exemplu tip portal ancorat în loc de stîlp tip turn);

— o proiectare mai judicioasă şi o optimizare constructivă;

— introducerea unor noi laminate, mai eficiente, pe măsura livrării lor de către industria siderurgică a ţării.

Toate acestea s-au concretizat, de la etapă la etapă, prin realizarea de stîlpi cu o comportare îmbunătăţită în exploatare şi prin reduceri succesive ale consumului de metal.

În domeniul staţiilor electrice s-a înregistrat o evoluţie similară din punctul de vedere al treptelor de tensiune.

Astfel, în anul 1952 s-a pus în funcţiune staţia de transformare de 110/35/6 kV Braşov (Breiner Bela), care este prima lucrare în acest gen proiectată de ISPE, în concepţia românească şi a cărei experienţă a stat la baza întregii activităţi de proiectare a staţiilor electrice desfăşurată pe parcursul a aproape 40 de ani.

În anul 1963 se realizează primele staţii de 220/110 kV la Bicaz şi Sîngeorgiu, în anul 1965 prima staţie de 400/220 kV pentru interconectare, la Luduş, iar în anul 1986 prima staţie de 750/400 kV la Isaccea pentru interconectarea cu U.R.S.S. şi R.P.B.

Spre deosebire însă de liniile electrice, la staţiile de transformare există o strînsă dependenţă de industria producătoare de aparataj. Din aceste motive, aşa cum s-a arătat şi mai sus, introducerea fiecărei noi trepte de tensiune de 110 kV, 220 kV şi 400 kV, a fost însoţită de asimilarea fabricării în ţară a echipamentelor respective. Face excepţie staţia de 750 kV care, datorită singularităţii sale, nu a justificat asimilările respective de echipamente. Mai mult chiar, eliminarea treptei de 220 kV nu a fost practic posibilă în staţiile de transformare decît numai odată cu fabricarea în ţară a transformatoarelor de 400/110 kV.

În ceea ce priveşte schema electrică a staţiilor de transformare, care constituie elementul de bază în realizarea acestor instalaţii, după unele tatonări de început, de exemplu în schemă H la staţia 110 kV Cîmpia Turzii, scheme în triunghi la staţiile 220 kV Bicaz şi Sîngeorgiu, s-a trecut la o activitate de tipizare, care este în vigoare şi astăzi şi care prevede :

— instalarea a două transformatoare ;

— utilizarea schemelor cu bare colectoare cu un întrerupător pe circuit şi anume cu bare colectoare duble şi o bară de transfer la staţiile de 110—400 kV şi cu bare colectoare simple, secţionate, la staţiile de 110 kV mai puţin importante.

Faţă de dispoziţia iniţială în exterior, semiînaltă , a aparatajului, în prezent staţiile se realizează pe verticală cu mai multe niveluri de tensiune, cu echipamente mult mai compacte (separatoare, întrerupătoare etc.). Aceasta, ca şi multe alte raţionalizări în proiectare, a făcut ca o staţie realizată în actuala concepţie să ocupe un teritoriu de circa 55% faţă de necesarul în condiţii similare pe baza vechilor soluţii de proiectare.

Evoluţii similare s-au înregistrat şi în domeniul realizării cadrelor exterioare (de lemn la unele construcţii provizorii, trecîndu-se în mod extins la cadre de beton armat, în unele cazuri speciale din metal).

În timpul celor 40 de ani de proiectare în domeniul staţiilor, blocul de comandă-exploatare s-a bucurat de o evoluţie favorabilă în sensul compactizării şi prefabricării sale, ceea ce a dus la o reducere totală de volum de peste 50%.

Un rol deosebit de important l-a avut la organizarea proiectării în general şi îndeosebi a reţelelor electrice regretatul academician Martin Bercovici, primul director ISPE, om de aleasă cultură şi specialist de înaltă calificare.

Desigur că toate cele de mai sus reprezintă doar etape în evoluţia proiectării reţelelor electrice. În acest sens, în prezent se au în vedere noi reduceri ale greutăţii stîlpilor liniilor prin folosirea de noi materiale de mare eficienţă, compactizarea în continuare a staţiilor prin introducerea echipamentelor cu SF_6, creşterea gradului de automatizare-control prin noile tehnici de calcul şi informatică.

Activitatea de export

Creşterea experienţei celor două institute în proiectarea obiectivelor energetice a permis prelucrarea în bune condiţii a diverselor activităţi pe plan extern.

Astfel, trebuie menţionate în primul rînd activităţile de expertiză şi consultanţă în domeniul energetic realizate în R.F.G., Peru, Bolivia, Egipt, Turcia, Republica Benin, Sudan etc.

Organizarea şi dezvoltarea industriei româneşti constructoare de echipamente energetice a permis exportul unor furnituri complexe sub formă de centrale electrice. Aceasta a necesitat organizarea în ISPE a activităţii de proiectare

pentru export a centralelor termoelectrice. Competența profesională a specialiștilor institutului a contribuit la extinderea continuă a acestei activități. Astfel, de la prima centrală de export Haideraban—India de 2×12 MW s-a asigurat proiectarea a diverse obiective în R.D.G., Turcia, Siria etc., în prezent fiind în derulare un contract cu R. P. Chineză, pentru centrala Pu-Cheng de 2×330 MW.

Experiența dobîndită de proiectanții ISPH în elaborarea de studii în domeniul amenajării cursurilor de apă și întocmirea de proiecte pentru centralele hidroelectrice a permis participarea la mai multe acțiuni peste hotare. Astfel, s-au întocmit mai multe studii și proiecte la diferite faze în Siria, Iran, Republica Benin, Bolivia, Turcia, Liban, Columbia și s-a acordat asistență tehnică în colaborare cu alte firme străine pentru diverse proiecte din Indonezia, Republica Dominicană, Ruanda, Algeria, Republica Centrafricană, Peru.

O evoluție la fel de favorabilă s-a înregistrat și în activitatea exportului de proiecte în domeniul rețelelor electrice, al cărui volum anual a crescut continuu, de peste 4,5 ori în ultimii 25 de ani. Printre lucrările de mai mare importanță realizate în acești ani se menționează cele pentru linii din Liban, Iran, Irak, Iordania, Egipt, Malaezia și, pentru stații, în Siria, Iran, Irak, Bangladesh, Turcia.

* * *

În rezolvarea sarcinilor tot mai complexe care, pe parcurs, au revenit celor două institute, s-a făcut apel tot mai mult la tehnica modernă de calcul.

În acest sens trebuie arătat că în anul 1956 ISPE a fost primul institut din țară dotat cu un calculator românesc de tip CIFA. În prezent se dispune de un centru propriu de calcul (ISPE) și de un oficiu de calcul (ISPH), avînd în total trei calculatoare de tip Felix, trei calculatoare CORAL și peste 80 de calculatoare de tip personal sau minicalculatoare, însumînd o putere de calcul de aproximativ 20 000 KO.

Există în prezent, în total, peste 300 de programe de calcul și se lucrează la formarea bazelor de date și la interconectarea calculatoarelor disponibile.

De o eficiență tot mai ridicată s-au dovedit colaborările cu instituțiile de învățămînt superior și în particular cu Institutele Politehnice din București, Iași, Timișoara și cu Institutele de Construcții din București și Timișoara. Datorită acestor colaborări s-a rezolvat o serie de probleme de bază în proiectarea energetică, cum ar fi modelarea pe calculator a comportării centralelor termoelectrice, construcția și comportarea centralelor nuclearoelectrice, colmatarea marilor lacuri, gospodăria energetică la marii consumatori etc.

Sarcinile tot mai complexe ce revin specialiștilor din energetică în etapa actuală a necesitat colaborarea pe baze noi cu învățămîntul superior. În acest sens se menționează organizarea, acum cîțiva ani, a unei filiale ISPE în cadrul Institutului Politehnic București. Acest nou mod de activitate permite rezolvarea în comun a unor probleme de anvergură, cum ar fi simulatoarele pentru grupurile de 330 MW și 50 MW, concepția unor elemente de bază ale centralelor nucleare, formarea specialiștilor de exploatare a acestor centrale etc.

Toate cele de mai sus reprezintă însă numai o parte din activitatea desfășurată pe parcursul a 40 de ani de cele două institute, ISPE și ISPH. Prezentarea sumară a activității de proiectare energetică pune în evidență ridicarea continuă a acesteia la nivelul tehnicii mondiale, în paralel cu dezvoltarea economică și socială a întregii țări. Formarea de specialiști de înaltă calificare în toate domeniile, variate, dar de înaltă tehnicitate, care concură la realizarea obiectivelor energetice, utilizarea metodelor și mijloacelor moderne de calcul a permis să se rezolve probleme tot mai complexe ale dezvoltării Sistemului Energetic Național.

Congresul al IX-lea al Partidului Comunist Român marchează o adevărată cotitură în dezvoltarea energeticii, prin axarea pe utilizarea lignitului inferior și a resurselor hidraulice, pentru producerea energiei electrice și termice și prin atenția deosebită acordată utilizării raționale a energiei.

ISPE și ISPH sînt în prezent în etapa de schimbare a generațiilor. Celor care preiau activitatea dezvoltării energeticii țării le revine sarcina proiectării și realizării de noi tipuri de instalații energetice — centrale nuclearoelectrice, centrale hidroelectrice cu acumulare prin pompaj, realizarea de rețele electrice de foarte înaltă tensiune etc. și modernizarea centralelor care-și ating durata normată de funcționare. Realizările de pînă acum reprezintă o garanție că Directivele Congresului al XIV-lea al Partidului Comunist Român vor fi transpuse neabătut în viață prin eforturile unite ale tuturor specialiștilor din cele două institute.

(Primit la 8 august 1989, acceptat la 10 august 1989)

Aspecte semnificative în evoluția concepției de proiectare a stațiilor electrice din România

Ing. PAUL EMIL RAȘCU, ing. DINU VOINEA*

Descriptori: stații electrice, proiectare

Lucrarea prezintă o sinteză a modului în care a evoluat în cei 40 de ani de existență a ISPE concepția de proiectare a stațiilor electrice, relevînd schimbările mai importante care au avut loc și factorii care le-au determinat. Sînt evaluate, de asemenea, și posibilitățile de valorificare în viitor a experienței de proiectare dobîndite în această perioadă.

The paper presents a progress synthesis in the sub-stations conception, during the 40 years of existence of the Energy Studies and Design Institute (ISPE), outlining the most important changes which had occured and their determinant factors. Future revaluation possibilities of the design experience acquired during this time are evaluated as well.

Introducere

În România a fost realizat în ultimii 40 de ani un mare număr de stații electrice de înaltă tensiune, dintre care: o stație de 750 kV, 25 stații de 400 kV, 66 de 220 kV și circa 1000 de 110 kV.

Proiectarea instalațiilor respective s-a făcut integral în țară, în principal în cadrul Institutului de Studii și Proiectări Energetice (ISPE) din București, care a elaborat și concepția de proiectare pentru acest gen de obiective.

În prezenta lucrare, consacrată unor aspecte semnificative ale evoluției proiectării stațiilor electrice din România, în intervalul de timp care s-a scurs de la înființarea ISPE (1949) pînă în prezent, se examinează, pe de-o parte, specificul soluțiilor din fiecare etapă și, pe de altă parte, principalii factori care au influențat, direct sau indirect, această evoluție.

De asemenea, se insistă asupra acelor preocupări și practici care au impulsionat perfecționarea soluțiilor tehnice și, în general, progresul în activitatea de proiectare a stațiilor electrice.

I. Evoluții în structura componentelor de bază

Evoluția soluțiilor de proiectare aplicate în ISPE în decursul timpului a fost analizată pentru următoarele componente de bază:

1. Instalații primare de înaltă tensiune:
   - scheme electrice (tabelul 1);
   - dispoziții constructive:
     a) instalații de tip exterior (tabelul 2);
     b) instalații de tip interior (tabelul 3);
   - echipamente:
     a) transformatoare de putere (tabelul 4);
     b) aparate (tabelul 5).
2. Instalații secundare (tabelul 6)
3. Servicii proprii:
   - curentul alternativ (tabelul 7);
   - curentul continuu (tabelul 8).
4. Instalații și amenajări auxiliare și anexe (tabelul 9);
5. Instalații de telemecanizare (tabelul 10)*.

Perioada de timp analizată (1949—1989) a fost împărțită în patru decade, astfel:

I. 1949—1959;
II. 1960—1969;
III. 1970—1979;
IV. 1980—1989.

II. Evoluții în criteriile de alegere a soluțiilor

În orice domeniu de activitate tehnică, o soluție inginerească corectă trebuie să satisfacă întregul pachet de cerințe specifice temei respective și nu numai selectiv, pe cîteva dintre ele. Întrucît aceste cerințe sînt, în general, destul de numeroase, de o mare diversitate și uneori chiar contradictorii, este necesar să se țină seama de importanța relativă a fiecăreia dintre ele, iar în final să se obțină un optim la nivelul ansamblului ponderat al acestora.

La alegerea soluțiilor de proiectare pentru stațiile electrice, ponderea cea mai ridicată a fost atribuită în ISPE mai ales următoarelor patru criterii:

a — siguranța în funcționare;

b — volumul costurilor de investiții și exploatare;

c — productivitatea în proiectare, execuție și exploatare;

d — protejarea mediului ambiant.

* Ing. Paul Emil Rașcu, ing. Dinu Voinea — Institutul de Studii și Proiectări Energetice, București

* Semnificația simbolurilor grafice folosite în tabelele 1—10 este următoarea:
● — soluție aplicată în majoritatea cazurilor;
◐ — soluție aplicată într-un număr restrins de cazuri;
○ — soluție aplicată în situații excepționale.
Fiecare tabel este însoțit de o prezentare sintetică a principalelor caracteristici ale soluțiilor utilizate

Tabelul 1

Instalații primare de înaltă tensiune. Scheme electrice

Tensiunea [kV]	Decada	Bare colectoare: simple, număr de întrerupătoare pe circuit: 1	Bare colectoare: duble, număr de întrerupătoare pe circuit: 1	Bare colectoare: duble, număr de întrerupătoare pe circuit: 1½	Bare colectoare: duble, număr de întrerupătoare pe circuit: 2	Bare colectoare: triple, număr de întrerupătoare pe circuit: 1	Celulă de rez. comutab. prin bară de transfer	Poligoane	Blocuri
110	I	◐	●				●		◐
	II	●	◐				◐		●
	III	●	◐				○		●
	IV	●	◐				○		●
220	I								
	II		●		○		●	○*	
	III		●				●	○	◐
	IV	○	●				●		◑
400	I								
	II								
	III		●**				●		
	IV		●	○		○	●	○	○
750	I	●***							
	II								
	III								
	IV							●***	

* primele instalații de 220 kV datează din 1963 (stațiile 220/110 kV Stejarul — Bicaz și Fintînele); ** primele instalații de 400 kV datează din 1971 (stațiile 400/220 kV Porțile de Fier I și București Sud); *** prima instalație de 750 kV datează din 1986 (stația 750/400 kV Isaccea).

Caracterizare

— schemele cu bare colectoare duble s-au folosit generalizat la stațiile de 220 și 400 kV și relativ frecvent la stațiile de 110 kV în prima decadă și apoi mult mai rar;

— schemele cu bare colectoare simple și bloc au fost larg aplicate la stațiile de 110 kV începînd din decada a II-a;

— schemele cu celulă de rezervă comutabilă prin bară de transfer s-au folosit practic la toate stațiile de 220 și 400 kV; la stațiile de 110 kV s-au aplicat numai în decadele I și II și aproape niciodată în continuare;

— schemele poligonale și cu mai mult de un întrerupător pe circuit au fost foarte rar utilizate.

Tabelul 2

Instalații primare de înaltă tensiune. Dispoziții constructive. Instalații de tip exterior

Tensiunea [kV]	Decada	Dispunerea echipamentului pe verticală: semiînaltă	Dispunerea echipamentului pe verticală: mixtă (semiînaltă + joasă)	Dispunerea separatoarelor în raport cu barele: clasică („cadru central")	Dispunerea separatoarelor în raport cu barele: tandem (kiellinie): longitudinal	Dispunerea separatoarelor în raport cu barele: tandem (kiellinie): mixt	Construcția portalelor pentru întinderea conductoarelor: beton armat: vibrat	Construcția portalelor pentru întinderea conductoarelor: beton armat: centrifugat	Construcția portalelor pentru întinderea conductoarelor: laminate oțel: zăbrele	Construcția portalelor pentru întinderea conductoarelor: laminate oțel: cheson	Pasul celulei [m]
110	I		●*	●			○	●**			10; 8
	II	●	◐*		●			●			9
	III	●			●			●			9
	IV	●			●			●			9
220	I										
	II	●			●			●***			17; 15
	III	●				●			●	○	17; 14
	IV	●		○					●		14
400	I										
	II										
	III	●			○	●			●	○	26; 22; 20
	IV	●				●			●		20
750	I										
	III										
	II										
	IV	●		●					●		46

* $P_{sc,circ} \leq 3$ GVA; ** începînd din anul 1957; *** cu rigle metalice începînd din anul 1968.

Caracterizare

— aplicarea generalizată la toate tensiunile din decada a II-a a dispoziției semiînalte;

— preferința pentru soluțiile constructive de tip tandem (kiellinie);

— realizarea portalelor pentru întinderea conductoarelor din construcții de beton armat la 110 kV și din metal (structuri cu zăbrele) la 220, 400 și 750 kV;

— reducerea progresivă a pasului celulei.

Tabelul 3

Instalații primare de înaltă tensiune. Dispoziții constructive. Instalații de tip interior

Tensiunea [kV]	Deceniul	Tipul clădirii		Tipul celulei		Număr nivele de deservire			Pasul celulei m
		zidărie	metal	deschis	închis	1	2	3	
6÷20	I	●	◐	●			●**	●**	2...2,5
	II	●		●	◐*	●	◐**		1,25...2
	III	●		●*	◐*	●			0,9...1,3
	IV	●		●*	◐*	●			0,9...1,3
110	I	●		●			●		7
	II	●		●			●		7
	III	●		●			●		7
	IV	●		●	○***	○***	●		6

* celule prefabricate cu întrerupător debroșabil; ** stații cu bobine de reactanță pe linii; *** stații capsulate în SF_6 (construcții experimentale).

Caracterizare

— amplasarea în clădiri de zidărie a instalațiilor de tip interior 6—110 kV;

— generalizarea tipului de celulă prefabricat cu întrerupător debroșabil la tensiunile medii de 6—20 kV, începînd din decada a II-a;

— generalizarea dispunerii pe un singur nivel a celulelor de medie tensiune (6—20 kV) și pe două niveluri a celor de înaltă tensiune (110 kV) începînd din decada a II-a;

— reducerea progresivă a pasului celulei (la 110 kV prin utilizarea separatorului semipantograf).

Tabelul 4

Instalații primare de înaltă tensiune. Echipamente. Transformatoare de putere

Tensiunea cea mai înaltă a transf. [kV]	Deceniul	Puterea trifazată pe unitate [MVA]					Nr. înfășurărilor principale		Construcția miezului		Execuția transform.	
		10÷20	25÷63	100÷200	250÷400	1250	2	3	Tole laminate la cald	Tole laminate la rece	Unități monofazate	Unități trifazate
110	I	●						●	●			●
	II	●	○				●		○	●		●
	III	●	○				●			●		●
	IV	●	○				●			●		●
220	I											
	II			●			●			●	○	●
	III			●			●			●		●
	IV			●			●			●		●
400	I											
	II				●		●			●	○	
	III				●		●			●	○	●
	IV				●		●			●		●
750	I											
	II											
	III											
	IV					●	●			●	●	

Caracterizare

— folosirea unui număr restrîns de trepte de putere pentru unitățile de transformare;

— utilizarea generalizată a transformatoarelor cu două înfășurări principale (exceptînd prima decadă cînd au fost instalate numai transformatoare cu trei înfășurări principale);

— folosirea generalizată a construcțiilor trifazate de transformatoare (exceptînd tensiunea de 750 kV și cîteva cazuri izolate de 220 și 400 kV);

— utilizarea generalizată din decada a II-a a tolelor laminate la rece pentru miezurile transformatoarelor (conducînd la pierderi reduse în fier).

Tabelul 5

Instalații primare de înaltă tensiune. Echipamente. Aparate

Tensiunea [kV]	Decada	I_{sc} kA	Întrerupătoare				Separatoare					Tr. Curent		Tr. Tens.		Descărcăt.	
			ulei mult	ulei puțin	aer comprim.	SF_6	Pantograf 1 coloană	Rotative 2 coloane	Rotative 3 coloane	Rotative criz.	Rotative vertic.	I_{sec} redusă 2–3 miez.	I_{sec} mare 3–4 miez.	inductiv	capacitiv	clasice	moderne (suflaj mag.)
110	I	10; 13	●	●	○				●		●	●		●		●	
	II	15,75; 31,5		●	○			●		●		●		●		●	
	III	15,75; 31,5		●				●		●		●		●	●*	●	
	IV	15,75; 31,5		●		○		●		●	●		●		●*		●
220	I																
	II	18; 31,5		●	●	○	○	●		●		●		●			●
	III	31,5		●				●		●			●		●		●
	IV	31,5		●				●		●			●		●		●
400	I																
	II																
	III	29		●				●			●		●		●		●
	IV	29; 31,5		●				●			●		●		●		●
750	I																
	II																
	III																
	IV	40			●			●			●		●		●		●

* la stațiile de tip interior și pe linii

Caracterizare

— trecerea la o treaptă mai ridicată a curenților de scurtcircuit admiși ($I_{sc,ef}$ = 31,5 kA) în decada II și menținerea la acest nivel (cu cîteva excepții) timp de peste 20 de ani;

— utilizarea preferențială a:

— întrerupătoarelor cu ulei puțin la toate tensiunile 6—400 kV;

— separatoarelor cu două coloane cu deplasarea cuțitelor în plan orizontal (la 110 și 220 kV) și vertical (la 110,400 și 750 kV);

— transformatoarelor de măsură cu performanțe ridicate de precizie;

— transformatoarelor de măsură capacitive (începînd din decada a III-a);

— descărcătoarelor cu suflaj magnetic (începînd din decada a II-a).

Tabelul 6

Instalații secundare

Tensiunea maximă în instalație [kV]	Decada	Sistemul de comandă-control		Sistemul de protecție		Grad de centralizare a instal. secundare		Sistemul de exploatare al stației		
		clasic	asistat de calculator	relee electromagnetice	relee statice	centraliz.	descentralizat (prot. + contori)	personal permanent	personal la domiciliu	telemecanizare
110	I	●		●		●		●		
	II	●		●		●		●	○	○
	III	●		●		●		●		●
	IV	●			●	●		●		●
220	I									
	II	●		●		○	●	●		
	III	●		●	●		●	●		
	IV	●			●		●	●		
400	I									
	II									
	III	●		●	●	○	●	●		○*
	IV	●			●		●	●		
750	I									
	II									
	III									
	IV		●		●	●		●		

* s-a aplicat experimental la stația 400 kV Slatina

Caracterizare

— menținerea sistemului clasic de comandă-control (comandă și măsură individuală, curenți tari etc.) la toate tensiunile; 6—400 kV;

— introducerea treptată în decada a III-a a releelor de protecție cu elemente statice;

— aplicarea generală a descentralizării protecției și contoarelor în stațiile cu tensiunea maximă de 220 și 400 kV;

— exploatarea în general cu personal permanent în ture a stațiilor cu excepția celor de 110 kV telemecanizate.

Tabelul 7

Servicii proprii. Curent alternativ

Tensiunea maximă în instalație [kV]	Decada	Sursa normală				Sursa de rezervă				Sursa de siguranță		
		MT din stație	Rețea MT din exterior	Terțiar (auto) trafo	Putere tr. MT/JT [kVA]	MT din stație	Rețea MT din exterior	Terțiar (auto) trafo.	Putere tr. MT/JT kVA	Grup electrogen pornire man.	Grup electrogen pornire aut.	Putere grup electrogen
110	I	●			50...100	●			50...100			
	II	●			50...100	●			50...100			
	III	●			50...100	●			50...100			
	IV	●			50...100	●			50...100			
220	I											
	II	①	●		240		●		240			
	III	①	●		240		●		240			
	IV		●		240		●		240	①		125
400	I											
	II											
	III		●	○	400		●		400	●		
	IV		●	○	400		●		400	●	○	125
750	I											
	II											
	III											
	IV			●	3000		●	●	3000		●	300

Caracterizare

— utilizarea, de regulă, ca sursă normală și sursă de rezervă pentru servicii proprii de curent alternativ a :

— instalațiilor de MT din cadrul stației, la stațiile cu tensiunea cea mai mare $\leqslant$ 110 kV ;

— rețelelor de MT din zonă, la stațiile cu tensiunea cea mai mare 220 și 400 kV ;

— utilizarea generalizată a unei surse de siguranță (grup electrogen) la toate stațiile de 400 kV și la stațiile importante de 220 kV ;

— unificarea treptelor de putere pentru transformatoarele de servicii proprii corespunzător tensiunii celei mai ridicate din fiecare stație.

Tabelul 8

Servicii proprii. Curent continuu

Tensiunea maximă în instalație [kV]	Decada	Sursa normală		Sursa de rezervă		Sursa de siguranță					
		Redresor		Redresor		Număr baterii	Tip acumulator		Regim de funcționare		
		în ulei	uscat	în ulei	uscat		Pb	Alte tipuri	Încărcare-descărcare	Tampon	
										neautomat	automatiz. (floating)
110	I	●		●		1	●			●	
	II	●		●		1	●			●	
	III		●		●	1	●			●	
	IV		●		●	1	●			●	①
220	I										
	II	●		●		1	●			●	
	III		●		●	1	●			●	●
	IV		●		●	1	●				●
400	I										
	II										
	III		●		●	1;2 *	●			①	●
	IV		●		●	1;2 *	●				●
750	I										
	II										
	III										
	IV		●		●	2	●				●

* numai în cîteva stații foarte mari, în scopul reducerii rețelei de cabluri (lungimi, secțiuni)

Caracterizare

— trecerea din decada a III-a, de la redresoarele în ulei la redresoarele uscate ;

— utilizarea cvasigeneralizată a unei singure baterii într-o stație ;

— folosirea generalizată a bateriilor de acumulatoare în vase de sticlă cu Pb și acid sulfuric ;

— aplicarea generalizată a sistemului de încărcare în tampon (din decada a III-a în varianta „floating" cu reglajul automat al tensiunii la redresoare).

Tabelul 9

Instalații și amenajări auxiliare și anexe

Tensiunea maximă în instalație [kV]	Decada	Priza de pămînt (material electrozi)		Paratrăznete (tipul captatorilor)		Instalații decuvare pentru transf.		Felul accesului pentru piese grele	
		oțel galvanizat	oțel negalvanizat	tijă	cablu	turn	portal	rutier	feroviar
110	I	●		●		○	○	●	◐
	II		●	●				●	
	III		●	●				●	
	IV		●	●				●	
220	I								
	II		●	●		○		●	
	III		●	●				●	
	IV		●	●				●	
400	I								
	II								
	III		●	●				●	○
	IV		●	●				●	
750	I								
	II								
	III								
	IV		●	●			●	●	

Caracterizare
— utilizarea în exclusivitate a oțelului pentru electrozii instalației de legare la pămînt și a tijei pentru paratrăsnete;
— prevederea sporadică a instalațiilor pentru decuvarea transformatoarelor în stații;
— generalizarea, încă din decada I, a accesului exclusiv rutier la stații.

Tabelul 10

Instalații de telemecanizare

Decada	Sisteme de telemecanică			
	Fire multe	Fire puține		
	Echipamente electromecanice cu contacte		Echipamente electronice	
			logică cablată	logică programabilă
I	●			
II	●			
III	●	●	◐	
IV			◐	●

Caracterizare
— trecerea, începînd din decada a III-a, de la sistemul de telemecanizare cu fire multe la cel cu fire puține;
— tendința de generalizare a telemecanizării cu echipamente electronice și logică programabilă.

În cele ce urmează se face o succintă trecere în revistă a modului cum a evoluat concepția de proiectare în legătură cu aceste criterii.

a) Soluțiile adoptate în vederea obținerii unui grad corespunzător de siguranță în funcționarea instalațiilor s-au bazat în mare măsură pe experiența unor țări cu tradiție îndelungată în domeniul respectiv. De o mare utilitate s-au dovedit în primul rînd diferitele reglementări tehnice — în special cele din U.R.S.S. și R.F.G. la care au fost aliniate inițial și prescripțiile românești —, precum și o serie de documentații de proiectare model obținute din U.R.S.S., Franța, R.F.G. etc.

Au fost, de asemenea, valorificate rezultatele cercetărilor proprii și, în general, experiența de exploatare dobîndită în țara noastră. În legătură cu acestea se menționează următoarele:

— Studiile desfășurate în mod organizat în ISPE încă din deceniul 7 în problema fiabilității instalațiilor energetice au permis o evaluare mai corectă a gradului de siguranță pentru diferitele configurații de scheme tehnologice. Pe această bază, în unele cazuri au fost alese soluții mai pretențioase, cu sensibilitate redusă la perturbații (de exemplu: la stațiile de 400 kV de racord la sistem a viitoarelor CNE s-a optat pentru scheme cu 1 1/2 întrerupătoare pe circuit). În alte cazuri dimpotrivă, spre deosebire de practica anterioară, au fost adoptate scheme mai simple (de exemplu: începînd din deceniul al 7-lea s-a restrîns mult utilizarea barei de transfer la stațiile de 110 kV

și a schemelor cu dublu sistem de bare la stațiile de 6...110 kV).

— Mai multe incendii apărute pe la mijlocul anilor '60 la gospodăriile de cabluri de la cîteva termocentrale au determinat adoptarea unor măsuri suplimentare de protecție și la stațiile electrice (de exemplu: folosirea cablurilor cu izolație din materiale incombustibile sau greu combustibile, separarea rezistentă la foc a fluxurilor de cabluri care se rezervă reciproc, eliminarea podurilor de cabluri la marea majoritate a stațiilor de rețea etc.).

— Avariile extinse, datorită conturnării izolației în unele stații de 220/110 kV expuse poluării chimice și în condiții de ceață densă, au impulsionat cu două decenii în urmă reconsiderarea dimensionării izolației externe a echipamentului de înaltă tensiune și a regulilor de amplasare a stațiilor electrice în raport cu sursele de poluare.

— După cutremurul din 4 martie 1977 au fost luate măsuri speciale de protecție seismică pentru instalațiile tehnologice ale stațiilor situate în zone cu seismicitate ridicată (la transformatoarele de putere, aparatajul de înaltă și joasă tensiune, bateriile de acumulatoare etc.).

— În urma unei avarii de sistem din a doua jumătate a deceniului 8, s-a generalizat prevederea de grupuri electrogene de siguranță la stațiile foarte importante de 220 kV și la toate stațiile de 400 kV.

b) Reducerea costurilor de investiții și exploatare a făcut obiectul unor peramanente preocupări începînd din anii '50. Dintre numeroasele acțiuni întreprinse în acest scop se menționează următoarele mai importante:

— simplificarea schemelor electrice primare, prin renunțarea, așa cum s-a arătat mai înainte, la conexiunile cu dublu sistem de bare la instalațiile cu un număr redus de circuite de 6—20 kV (iar în situații speciale chiar și la tensiuni mai înalte: 220 kV și 400 kV) și prin renunțarea de asemenea la cupla și bara de transfer la majoritatea stațiilor de 110 kV, limitarea la minimum a instalării cu anticipație a unor circuite și echipamente necesare într-o etapă următoare etc.;

— reducerea volumului lucrărilor de construcții, prin adoptarea unor dispoziții cît mai avantajoase pentru instalațiile tehnologice. În acest sens pot fi citate: dispunerea în tandem a separatoarelor de bare la stațiile exterioare, montajul în clădire pe un singur nivel a echipamentului de înaltă tensiune în urma renunțării la bobinele de reactanță și a folosirii celulelor prefabricate cu întrerupătoare debroșabile la stațiile interioare de medie tensiune, reducerea gabaritelor stațiilor de 110 kV amplasate în clădiri prefabricate de beton prin utilizarea separatoarelor semipantograf și a conductoarelor rigide, trecerea de la blocurile de comandă cu 2—3 niveluri la cele cu un singur nivel prin dispunerea releelor de protecție în vecinătatea instalațiilor de înaltă tensiune la stațiile de 220 kV și 400 kV;

— reducerea necesarului de cabluri de joasă tensiune (lungimi și secțiuni) prin amplasarea descentralizată a releelor de protecție, așa cum s-a menționat mai înainte, iar la stațiile foarte mari de 220 kV și 400 kV și prin crearea unei a doua unități separate de servicii proprii pentru curentul continuu și curentul alternativ, în afara celei din blocul de comandă;

— renunțarea la dotări și amenajări costisitoare, dar cu un grad foarte redus de utilizare și cu probleme dificile de întreținere, ca de exemplu: turnuri de decuvare, gospodării de ulei, ateliere mecanice, racorduri de cale ferată etc. De asemenea, s-a urmărit scurtarea la maximum a lungimii căilor rutiere de acces special construite pentru stație, prin alegerea unor amplasamente cît mai apropiate de drumuri publice pentru trafic greu.

c) În vederea creșterii productivității în proiectare, execuție și exploatare preocupările proiectantului s-au manifestat mai ales în direcția tipizării soluțiilor și a introducerii tehnicii calculului automat.

Printr-o activitate susținută, care a început încă de la mijlocul anilor '50, s-a reușit standardizarea, pînă la nivel de subansamblu, a tuturor elementelor (modulelor) din compunerea tipurilor curente de stații electrice de la 6 kV la 400 kV inclusiv. Soluțiile tip au fost periodic ameliorate pentru a ține seama de experiența cîștigată și a rămîne în concordanță cu progresul tehnic. Aceasta a contribuit esențial la creșterea numărului de proiecte elaborate anual și la îmbunătățirea calității lor.

În paralel au beneficiat de tipizare atît întreprinderile de execuție, care au putut trece la o industrializare extinsă a construcțiilor și montajului și și-au putut organiza mai bine aprovizionarea cu materiale și utilaje, cît și întreprinderile de exploatare, cărora le-a facilitat instruirea personalului de deservire și le-a uniformizat în mare măsură dotațiile pentru lucrările de întreținere și reparații.

Și pentru industrie, tipizarea soluțiilor de proiectare a prezentat certe avantaje prin asigurarea unei fabricații pentru serii mari de produse.

Calculul automat a fost introdus, începînd din a doua jumătate a anilor '60, la efectuarea unor operațiuni de proiectare laborioase (de exemplu: calculul mecanic al conductoarelor flexibile, dimensionarea portalelor din stațiile exterioare, calculul bateriilor de acumulatoare, dimensionarea instalațiilor de legare la pămînt și de protecție împotriva loviturilor directe de trăsnet, calculul documentațiilor economice etc.),

obținîndu-se nu numai o reducere apreciabilă a duratei de studiu, dar și o creștere a calității soluțiilor, prin modelarea mai exactă a proceselor și prin analizarea unui număr mult mai mare de variante.

Mijloacele de calcul automat au fost promovate de asemenea, încă din deceniul 8, la sistemele de conducere centralizată a stațiilor, unde, prin crearea posibilității prelucrării rapide a unui volum foarte mare de informații, pot să contribuie substanțial la creșterea siguranței instalațiilor sistemului energetic și la optimizarea regimurilor de funcționare.

d) S-a acordat o atenție crescîndă problemei protecției mediului ambiant, începînd chiar din anii primului plan de electrificare a României (1950—1960). Ea s-a reflectat sub diferite forme în soluțiile adoptate, principalele acțiuni întreprinse în acest scop fiind următoarele:

— compactizarea dispozițiilor constructive în vederea ocupării unor terenuri cît mai restrînse. La aceasta s-a ajuns prin micșorarea gabaritelor celulelor de înaltă tensiune (de exemplu la stațiile de tip exterior cu dublu sistem de bare colectoare, suprafața celulei de linie a fost redusă în timp cu 35% la 110 kV, cu 38% la 220 kV și cu 41% la 400 kV) și prin organizarea cît mai judicioasă a planului general;

— evitarea amplasării stațiilor pe terenuri productive, în zone împădurite, parcuri și livezi. Preocupările în această direcție au avut în vedere în afară de stația propriu-zisă și liniile de înaltă tensiune și căile de circulație (accese) aferente;

— prevederea de amenajări pentru reținerea scurgerilor accidentale de ulei de la transformatoare și aparate, împiedicînd infiltrarea lor în sol;

— prevederea de măsuri de protecție împotriva extinderii unui eventual incendiu la obiectele din vecinătatea stației (distanțare, pereți antifoc, instalații de stins incendiu etc.);

— menținerea sub limitele admise a nivelului de poluare sonoră prin ecranarea acustică a surselor de zgomot (transformatoare de putere, întrerupătoare) în zonele locuite;

— încadrarea cît mai estetică în mediul ambiant a instalațiilor tehnologice și construcțiilor de la stațiile electrice prin: soluții de plan general care să conducă la dispoziții echilibrate ale obiectivelor componente în fiecare etapă și la contururi regulate ale incintelor (de exemplu stația 400 kV Țînțăreni, stația 220/110 kV Aref), sistematizarea ieșirilor de linii electrice aeriene din stație (exemplu stația 400/110 kV Călărași), armonizarea arhitecturii clădirilor stației cu cea a construcțiilor din vecinătate și cu specificul cadrului natural (stația 110 kV Valea Largă) etc.

III. Unele considerații cu privire la cauzele și natura schimbărilor în soluțiile de proiectare

III. 1. Evoluțiile care s-au produs în soluțiile de proiectare pentru stațiile electrice au fost determinate în principal de următorii patru factori:

a — progresul tehnic general;
b — experiența de exploatare;
c — gradul de dezvoltare a sistemului energetic;
d — conjuncturi economice interne.

a) Alinierea soluțiilor de proiectare la progresul tehnic realizat pe plan național și mondial a fost o preocupare constantă în ISPE. Ea nu a fost urmărită în mod mecanic, ci numai în momentul și în condițiile în care putea efectiv duce la obținerea unor avantaje concrete. Astfel:

— la stațiile exterioare de 110 kV cu dublu sistem de bare colectoare trecerea de la dispoziția constructivă cu cadru central la cea cu separatoarele de bare așezate în tandem a devenit avantajoasă la începutul anilor '60, cînd s-a dispus de separatoare cu deplasarea cuțitelor în plan orizontal;

— utilizarea celulelor de medie tensiune cu întrerupător debroșabil a putut fi generalizată tot din anii '60, odată cu rezolvarea fabricației acestor celule de către industrie;

— introducerea sistemului de exploatare a bateriilor de acumulatoare în regim „floating" a avut loc pe la jumătatea deceniului al 8-lea, cînd a putut fi asigurată producerea în țară a redresoarelor automatizate de capacitate corespunzătoare;

— tehnologia relativ modernă a instalațiilor de înaltă tensiune capsulate în SF_6 s-a aplicat în România deocamdată numai experimental, întrucît, dacă asimilarea în țară a echipamentului respectiv a fost însușită de către industrie problema întreținerii acestuia nu a căpătat încă o rezolvare satisfăcătoare. În același timp, costul încă ridicat al echipamentului capsulat limitează mult situațiile în care poate deveni competitiv cu cel convențional.

b) Experiența de exploatare în general a validat, dar cîteodată a și infirmat, funcționalitatea soluțiilor de proiectare, impunînd în astfel de cazuri, fie ameliorarea, fie abandonarea lor. Cîteva exemple pentru ilustrarea celor de mai sus sînt prezentate în continuare.

— Înlocuirea, la instalațiile de legare la pămînt, a electrozilor din oțel galvanizat cu electrozi din oțel neprotejat împotriva coroziunii (dar cu grosimea pereților majorată în medie cu 50%) a dat rezultate satisfăcătoare în cazul terenurilor obișnuite neagresive chimic. Drept urmare soluția a fost generalizată pentru solurile cu ph > 6 încă din deceniul 7, dovedindu-se foarte avantajoasă economic.

— Pe la începutul anilor '60 s-a experimentat dispunerea unor stații de medie tensiune (6—

20 kV) în cabine metalice amplasate în aer liber. Cu toate măsurile de protecție adoptate comportarea în condițiile atmosferice specifice climei din țara noastră a fost în general nesatisfăcătoare. Din acest motiv soluția nu a mai fost utilizată decît pentru instalații provizorii de șantier.

— În a doua jumătate a deceniului al 7-lea a fost introdus, tot experimental, la cîteva stații de 110 kV, sistemul de exploatare cu „personal la domiciliu". Dificultățile constatate la această soluție au fost generate mai ales de problemele sociale ale personalului obligat să locuiască în case relativ izolate de centrele populate. În cele din urmă a trebuit să se revină la exploatarea cu personal permanent în ture, iar ulterior au fost dezvoltate sisteme de exploatare prin telemecanizare.

c) În procesul de electrificare intensivă care a avut loc în România după anul 1950 au intervenit o serie de mutații importante în structura sistemului energetic, care au influențat soluțiile adoptate pentru stațiile de rețea. Așa s-a întîmplat, de exemplu, în următoarele cazuri:

— după crearea și consolidarea sistemului interconectat unic la tensiunea de 110 kV și mai cu seamă odată cu realizarea rețelelor de transport de 220 kV și 400 kV (în cea de a doua jumătate a deceniului 7 și începutul deceniului 8) dezvoltarea rețelelor de 110 kV a fost tot mai mult determinată de necesități de distribuție a energiei electrice la consumatori. În aceste condiții noi, la marea majoritate a stațiilor de 110 kV au putut fi prevăzute scheme de conexiuni simplificate: blocuri, „H", bare colectoare simple;

— creșterea continuă a valorii curenților de scurtcircuit în rețelele de înaltă tensiune a necesitat, în afara instalării unui aparataj mai robust, și o serie de alte măsuri, între care: luarea în considerare a unor solicitări mecanice majorate la conductoarele căilor de curent de înaltă tensiune, la construcțiile de întindere/susținere a acestora, precum și la bornele aparatelor electrice, realizarea unor prize de pămînt cu rezistență de dispersie mai redusă și stabilitate termică mai ridicată, micșorarea timpilor de declanșare la sistemele de protecție, măsuri suplimentare de protecție împotriva efectelor arcului electric, limitarea mărimii curenților de scurtcircuit în anumite zone ale rețelei prin secționări, reactanțe mărite la transformatoare, instalarea de bobine de reactanță pe linii și transformatoare etc.;

— modificările intervenite în configurația rețelelor sistemului energetic au determinat reducerea complexității stațiilor prin limitarea numărului treptelor tensiunilor înalte dintr-o stație de la 3...4 în trecut (110/35/15/6 kV, 220/110/20 kV, 400/220/110/20 kV) la, de regulă, numai două trepte de tensiune (110/6 . . .20 kV, 220/110 kV, 400/110 kV), mai ales începînd de la mijlocul anilor '70.

d) Particularitățile dezvoltării economiei României în ultimele patru decenii s-au reflectat și în soluțiile adoptate pentru stațiile electrice. Astfel, spre exemplu:

— Ritmul înalt al dezvoltării economice a necesitat punerea în funcțiune a unui mare număr de stații într-o perioadă relativ scurtă de timp. Această problemă a putut fi rezolvată, între altele, asigurînd prin soluțiile de proiectare o tipizare avansată a componentelor și un grad înalt de prefabricare a construcțiilor și montajului tehnologic.

— Crearea unor importante concentrări de consum de energie electrică pe marile platforme industriale și în centrele urbane intens dezvoltate a impus alimentarea acestora la tensiuni din ce în ce mai înalte (110 . . .400 kV) și în mod frecvent prin „stații de racord adînc" alcătuite de obicei din cîte două blocuri linie-transformator, rezervîndu-se reciproc 100 %.

— În vederea economisirii de resurse materiale deficitare, construcția stațiilor electrice a trebuit să facă față anumitor restricții (metal, cabluri etc.). Aceasta a condus, de exemplu, la o largă folosire a betonului armat la portalele pentru întinderea conductoarelor din stațiile de 110 kV și la suporturile aparatelor din stațiile exterioare de toate tensiunile.

Reducerea consumului de cabluri s-a realizat în special prin soluțiile menționate la pct. II b.

Restricțiile la import, care s-au accentuat din deceniul al 8-lea, au afectat în mai mică măsură soluțiile tehnice ale stațiilor, întrucît industria a reușit să asimileze cea mai mare parte a echipamentelor necesare.

III.2. În ceea ce privește natura schimbărilor intervenite în decursul timpului la soluțiile de proiectare, pot fi distinse următoarele patru situații caracteristice:

a) Abandonarea unei soluții în vederea înlocuirii ei cu una structural diferită. De exemplu, renunțarea la folosirea:

— întrerupătoarelor cu ulei mult (înlocuite cu întrerupătoare cu ulei puțin, aer comprimat, SF_6);

— transformatoarelor de putere cu trei înfășurări 110/35/6 kV, 110/6/15 kV etc. (înlocuite cu transformatoare de putere cu numai două înfășurări principale: 110/6 kV, 110/20 kV, 400/110 kV etc.);

— bobinelor de reactanță în stațiile de 6—10 kV (prin instalarea în rețeaua de medie tensiune a unui echipament rezistent la curenți de scurtcircuit ridicați);

— celulelor de medie tensiune asamblate la fața locului (înlocuite cu celule prefabricate produse industrial);

— riglelor din beton la portalele din stațiile de 220 kV (înlocuite cu rigle de metal sensibil mai ușoare);

— telemecanizarea cu fire multe (înlocuită cu sisteme necesitînd fire puține);

b) Restrîngerea domeniului de utilizare a unor soluții larg folosite anterior. De exemplu:

— schemele de conexiuni cu bare colectoare duble și bară de transfer la stațiile de 110 kV (așa cum s-a arătat la pct. II, a, b și III c);

— sistemul de exploatare cu personal permanent în ture (care se aplică numai la stațiile foarte importante de 110 kV — restul urmînd să fie telemecanizate — și la stațiile de 220 kV și 400 kV).

c) Introducerea de perfecționări care nu modifică structural soluția anterioară. Dintre numeroasele situații de acest fel se menționează următoarele:

— perfecționările aduse dispozițiilor constructive pentru stațiile exterioare de 110—400 kV, în special structurilor cu separatoarele de bare în tandem longitudinal, care au dus la reduceri ale pasului și lungimii celulelor, gabarite mai mici ale portalelor, condiții de exploatare mai bune etc. Un proces similar de perfecționare poate fi constatat și în cazul diferitelor structuri de stații electrice de tip interior 6...110 kV;

— îmbunătățirile care au fost frecvent aduse detaliilor schemelor de comandă-control și protecție prin relee;

— la bateriile de acumulatoare prevăzute să lucreze în regim tampon au fost introduse, începînd de la mijlocul anilor '70, sursele de încărcare automatizate, ceea ce simplifică mult exploatarea și crește siguranța în funcționare.

d) Revenirea, în condiții modificate, la soluții abandonate în trecut. Iată cîteva exemple:

— relansarea în anii '70 a soluției de prefabricare a blocurilor de comandă și a stațiilor interioare de medie tensiune, experimentată cu rezultate neconcludente la sfîrșitul deceniului 6, în condițiile nou create ale unor clădiri cu numai un singur nivel, ca urmare a descentralizării protecțiilor, renunțării la bobinele de reactanță etc.;

— reluarea, către sfîrșitul anilor '70, a sistemului de realizare a canalelor de cabluri din prefabricate de beton, aplicat inițial în anii '60 fără succes. În noua situație, dimensiunile canalelor au putut fi substanțial reduse prin acceptarea multifuncționalității circuitelor dintr-un cablu și prin renunțarea la montajul cablurilor pe polițe;

— revenirea la izolatoarele capă și tijă în compunerea lanțurilor de izolatoare, după ce în a doua jumătate a deceniului 7 și prima jumătate a deceniului 8 fuseseră înlocuite cu izolatoare de tip tijă (Langstab), în special la tensiunile mai înalte de 220 kV și 400 kV. Această revenire a fost favorizată de fabricarea în țară a izolatoarelor capă și tijă din sticlă călită cu proprietăți superioare celor din porțelan: greutate mai mică, condiții de exploatare mai bune, cost mai redus etc.

III. 3. La încheierea acestor succinte considerații cu privire la cauzele și natura schimbărilor care au avut loc la soluțiile de proiectare, trebuie remarcată și existența unor opțiuni care au rămas nemodificate în permanență sau, cel puțin o foarte lungă perioadă de timp, ca de exemplu:

— structura de conexiuni cu bare colectoare, adoptată în general pentru schemele circuitelor primare de înaltă tensiune 6...400 kV;

— dispunerea la semiînălțime a aparatajului de înaltă tensiune în stațiile electrice de tip exterior (aplicată parțial încă din anii '50 și generalizată după 1965);

— descentralizarea echipamentului de protecție, practicată la stațiile de rețea cu tensiunea cea mai mare 220 kV și 400 kV;

— utilizarea în exclusivitate, la serviciile proprii, a tensiunii nominale de 220 V pentru curentul continuu și 3 × 380/220 V pentru curentul alternativ;

— utilizarea electrozilor din oțel la instalațiile de legare la pămînt artificiale;

— utilizarea captatoarelor de tip tijă la instalația de protecție împotriva loviturilor de trăsnet.

IV. Preocupări și practici pentru formarea și perfecționarea concepției de proiectare

Formarea și perfecționarea continuă a unei concepții superioare de proiectare într-un domeniu relativ complex, cum este și cel al stațiilor electrice, se realizează în cadrul unui proces amplu și îndelungat printr-un ansamblu coordonat de activități.

Experiența acumulată de ISPE în această direcție relevă rolul determinant al unor preocupări și practici cultivate în perioada analizată, cele mai importante dintre ele fiind:

IV. *1. Informarea tehnică de specialitate*

Prin dezvoltarea unei activități de largă informare tehnică, de menținere la curent cu progresul realizat atît pe plan intern, cît și la nivel mondial (soluții, tehnici, metode), s-a urmărit atît stimularea unor inițiative creatoare în proiectare, execuție, exploatare și industrie, cît și evitarea reparcurgerii unor etape de studii și cercetare încheiate.

Principalele surse de informare utilizate au fost următoarele:

— Publicațiile de specialitate.

— Institutele de cercetare și de învățămînt superior. Contactele cvasipermanente cu cadre de înaltă calificare din institute, precum: I.P.B., ICEMENERG, ICPE, ICCPDC, INCERC etc. au contribuit substanțial la elucidarea unor probleme noi sau de mare dificultate tehnică, precum: contaminarea izolației electrice, cîmpul electric în instalațiile de foarte

înaltă tensiune, acțiunile seismice, fenomenele aerodinamice în stațiile exterioare, apariția și extinderea incendiilor etc.

— Manifestările tehnico-științifice sub formă de: congrese, simpozioane, conferințe. Participarea la acestea a prilejuit un util schimb de experiență cu un mare număr de specialiști din țară și din străinătate.

Deosebit de profitabile au fost în special lucrările Comitetului 23 (Postes) al CIGRE, desfășurate atît în cadrul sesiunilor bienale de la Paris, cît și la reuniunile organizate între aceste sesiuni (o reuniune a Comitetului 23 a avut loc și în România, la Suceava, în anul 1984).

Un sprijin generos, sub forma unei bogate documentații tehnice de specialitate, a fost primit de ISPE, din partea a numeroase comitete naționale CIGRE cu ocazia cutremurului care a afectat țara noastră în anul 1977.

— Stagiile de specializare.

— Vizitarea unor obiective reprezentative în țară sau în străinătate.

IV. *2. Relațiile cu industria electrotehnică*

Prin menținerea de relații strînse cu furnizorii de echipamente s-a urmărit în esență orientarea activității acestora spre produse cît mai bine adaptate unor soluții moderne de stații. În acest sens, participarea proiectantului de stații, în colaborare și cu unitatea de cercetare de profil, la dialogul cu industria a cuprins următoarele:

— stabilirea necesarului de sortimente și cantități de echipamente pentru o perspectivă cît mai largă (de regulă 10...15 ani);

— întocmirea de teme de proiectare, caiete de sarcini și chiar standarde generale de produs;

— conlucrarea cu industria la procesul de asimilare a produselor în etapele de proiectare, realizarea și omologarea prototipului și a seriei zero (avizare de documentații, participare la probe etc.);

— conlucrarea cu industria la activitatea de urmărire în exploatare și perfecționare a produselor (analize de avarii, studii privind calitatea produselor etc.).

Aceste relații de colaborare permanentă cu industria au avut ca rezultat introducerea în fabricație a unor serii unitare de produse cu parametri tehnici și economici superiori (de exemplu seria de întrerupătoare cu ulei puțin IO pentru tensiuni cuprinse între 6 kV și 400 kV) și totodată îmbunătățirea performanțelor la anumite echipamente (de exemplu dispozitivele ASE de acționare a separatoarelor de înaltă tensiune).

IV. *3. Relațiile cu șantierele de execuție*

Contactul nemijlocit și metodic cu șantierul de execuție, mai ales atunci cînd s-a produs din inițiativa proiectantului, a fost atît în avantajul lucrării, cît și al proiectantului, întrucît:

— s-a dobîndit o viziune mai clară și mai cuprinzătoare asupra alcătuirii și proporțiilor obiectivului în ansamblu și a componentelor acestuia nu numai de către proiectantul începător, ci și de cel cu oarecare experiență, cînd a avut de soluționat o clasă nouă de probleme. Această confruntare cu realitatea a sugerat adesea modalități de tratare mai simple, mai raționale și a contribuit în mare măsură la formarea profesională a proiectanților;

— s-a putut interveni prompt și eficient pentru rezolvarea corectă, în concordanță cu concepția generală a proiectului, a unor probleme neprevăzute apărute în cursul execuției (de exemplu în legătură cu structura geologică a solului, cu anumite dificultăți de aprovizionare cu material etc.);

— s-au evitat la timp erori de execuție datorate unei neînțelegeri a proiectului.

O atenție sporită a fost acordată mai ales executării corecte a construcțiilor și a montajului instalațiilor de înaltă tensiune, deoarece la aceste părți erorile, atunci cînd se poduc, sînt în general dificil de remediat.

IV.4. *Relațiile cu exploatarea*

Au permis obținerea de date utile referitoare la:

— existența unor inconveniente reale la efectuarea, în condițiile prevăzute de proiect, a operațiilor curente de supraveghere, manevră, întreținere sau reparații;

— frecvența și intensitatea solicitărilor simple sau combinate asupra elementelor stației datorită acțiunii unor factori naturali (climă, keraunicitate, seismicitate etc.), ambientali (poluare, incendii etc.), umani (erori de comportament etc.) sau intrinseci (scurtcircuite, supratensiuni interne etc.);

— gradul de vulnerabilitate al unor componente și structuri (echipamente, scheme electrice, sisteme constructive etc.) considerat în legătură și cu nivelul calitativ al exploatării (în special al activității de întreținere și reparații);

— modul în care au evoluat diferitele incidente și factorii care au favorizat aceste evoluții, în condițiile specifice ale anumitor obiective de stații electrice.

Constatările făcute în perioada de exploatare au fost supuse întotdeauna unor examinări atente și obiective și pe baza lor, într-o serie de cazuri s-au introdus corecții și îmbunătățiri la soluțiile și metodele de proiectare. Astfel, spre exemplu, fiabilitatea testată în exploatare pentru echipamentele folosite la construcția

staţiilor a determinat gradul de rezervare ce s-a adoptat în schemele electrice primare şi secundare, la instalaţiile serviciilor proprii, precum şi amploarea amenajărilor şi dotărilor prevăzute pentru lucrările de revizii şi de reparaţii.

O atenţie specială a fos acordată întotdeauna analizelor de avarii, care, făcute cu competenţă şi orientate cu precădere asupra aspectelor pur tehnice ale cazului examinat, au furnizat un material informativ deosebit de util proiectării. Aceasta deoarece în condiţii de criză, cînd se poduc solicitări extreme, reies mai clar performaţele reale ale instalaţiilor tehnologice şi construcţiilor, precum şi eventualele puncte slabe ale soluţiilor de proiectare şi ale practicilor de execuţie şi exploatare.

IV. *5. Pregătirea perspectivei*

Proiectantul nu trebuie să fie niciodată surprins nepregătit să rezolve, cu promptitudinea cerută, problemele noi, numai astfel putînd fi evitate întîrzieri nepermise în relizarea unor obiective sau promovarea de soluţii insuficient studiate.

Preocupăile care au existat în trecut în legătură cu pregătirea problematicii viitorului au urmărit, pe de-o parte, descoperirea naturii şi conţinutului acesteia (pe baza studiilor privind dezvoltarea sistemului energetic şi a evoluţiilor tehnologice pe plan mondial), iar, pe de altă parte, crearea unor nuclee de cercetare, constituite din elementele cele mai bine pregătite, care să elaboreze studii generale referitoare la modalităţi de rezolvare a viitoarelor tipuri de probleme (studii de nivel tehnic, analize de soluţii şi metodologii).

Astfel, au fost pregătite din timp etape importante ale dezvoltării concepţiei de proiectare a staţiilor, precum :

— trecerea la trepte superioare de tensiune în reţelele sistemului energetic: 220 kV, 400 kV, 750 kV ;
— realizarea seriei noi de staţii interioare de 110 kV cu echipament clasic pentru termocentralele cu grupuri de 50 MW şi 150 MW pe lignit ;
— utilizarea tehnicii de prelucrare automată a datelor în proiectare şi la instalaţiile de telemecanizare a staţiilor ;
— introducerea în instalaţii a echipamentului de înaltă tensiune capsulat în SF_6.

Chiar studii de amploare mai redusă, efectuate însă din timp, au facilitat abordarea unor probleme devenite brusc foarte acute, ca de exemplu :

— protecţia împotriva incendiilor în gospodăriile de cabluri şi la transformatoarele de putere ;
— combaterea efectelor poluării industriale ;
— reducerea riscului de avariere în urma unor solicitări seismice majore.

Trebuie arătat de asemenea, că promptitudinea cu care au fost formulate propuneri concrete şi responsabile de adaptare a soluţiilor de staţii la situaţii de conjunctură ale economiei naţionale (cum au fost cele de la sfîrşitul anilor '70 şi începutul anilor '80), reclamînd economisirea drastică a unor materiale deficitare, creşterea substanţială a productivităţii muncii prin tipizarea şi industrializarea produselor, restrîngerea terenurilor ocupate de obiectivele industriale etc., a fost posibilă numai valorificînd rezultatele unor studii şi cercetări elaborate anterior.

În sfîrşit se poate susţine că gradul înalt de procedurare a activităţii de poiectare în domeniul staţiilor electrice, pregătit cu competenţă şi meritorie perseverenţă timp de aproape trei decenii, a creat premisele favorabile pentru dezvoltarea informatizării la proiectarea acestor obiective.

IV. *6. Argumentarea soluţiilor*

Este un lucru bine cunoscut că o soluţie nouă, oricît ar fi de corectă şi bine studiată, riscă să nu fie totuşi agreată de către beneficiar, de organele de avizare tehnică şi de decizie, dacă nu este bine susţinută. De aceea, folosirea unei argumentări convingătoare a fost considerată întotdeauna printre preocupările importante ale proiectantului. Există anumite strategii şi tactici ale argumentării care, atunci cînd sînt bine pregătite, pot contribui decisiv la promovarea soluţiilor.

În ISPE principalele strategii utilizate au fost următoarele :

— crearea unui înalt prestigiu tehnico-ştiinţific institutului, pentru că, aşa cum se afirmă într-un vechi proverb chinez „argumentele se cîntăresc împreună cu cel care le expune". Acest prestigiu a fost edificat pas cu pas, pe măsura creşterii numărului, complexităţii şi calităţii studiilor şi proiectelor elaborate şi a formării unei echipe puternice de specialişti care s-a făcut remarcată nu numai prin activităţile din institut, pentru obiective din ţară, dar şi prin lucrări pentru parteneri externi, prin participări meritorii în diferite foruri de specialitate, prin lucrări originale publicate în periodice şi cărţi etc. ;
— oficializarea principiilor şi regulilor de proiectare prin standarde, prescripţii, normative şi instrucţiuni, activitate inaugurată încă din anii '50 şi care acoperă în prezent cvasiintegral domeniul proiectării staţiilor electrice ;
— standardizarea soluţiilor de proiectare pentru toate componentele staţiilor electrice 6 . . . . . 400 kV de profil uzual, prin proiecte tip de nivel republican şi departamental.

În ceea ce priveşte mijloacele tactice, s-a recurs în general la următoarele :

— stricta respectare, în cadrul fiecărei lucrări, a principiilor şi regulilor de proiectare ;

— o atitudine în principiu binevoitoare faţă de cerinţele exprese ale beneficiarului, eventuala nesatisfacere a unora dintre ele urmînd a fi întotdeauna bine motivată ;
— obţinerea unei adeziuni de principiu la soluţiile propuse, din partea forurilor de avizare şi a beneficiarului, pe parcursul elaborării proiectului ;
— utilizarea unui mod clar, concis şi atrăgător de expunere a soluţiilor propuse.

Concluzii

Studiul evoluţiei concepţiei de proiectare a staţiilor electrice din România în ultimii 40 de ani, cercetarea mai ales a raţiunilor care au stat la baza acestei evoluţii prezintă nu numai un interes istoric, ci şi unul practic. Experienţa acumulată în această perioadă, relativ îndelungată şi bogată în realizări, va putea fi valorificată şi în viitor în cel puţin unul din următoarele moduri :

— preluarea şi aplicarea, cu discernămîntul necesar, a unor idei şi procedee de lucru care şi-au dovedit eficacitatea în perioadele anterioare ;

— evitarea reparcurgerii unor etape de studiu şi cercetare ;

— evitarea repetării unor erori constatate la soluţiile şi practicile de proiectare din trecut ;

— crearea unor soluţii cu caracteristici superioare, adaptînd şi combinînd cu talent şi imaginaţie, în condiţii favorabile noi, elemente preluate de la soluţii experimentate mai demult, chiar dacă iniţial rezultatele nu au fost dintre cele mai bune.

(Primit la 22 iunie 1989, acceptat la 27 iulie 1989)

Preocupări actuale privind proiectarea dezvoltării Sistemului Energetic Naţional

Dr. ing. ANCA POPESCU, dr. ing. GEORGE MANOLESCU, ing. HERMINA ALBERT, mat. GHEORGHE VÂLCEREANU, dr. ing. EMIL COSTIN, ing. MIHAI SĂNDULESCU*

Descriptori : dezvoltare, sisteme energetice

Printre preocupările actuale ale specialiştilor ce se ocupă de proiectarea sistemului energetic naţional, se distinge tendinţa de a folosi tot mai intens tehnica de calcul în toate etapele studiilor de dezvoltare. Ca urmare, complexitatea abordării feluritelor aspecte sporeşte : problema consumului de energie electrică nu mai este separată de contextul tuturor consumurilor energetice, prevederea dezvoltării componentelor sistemului energetic este realizată prin modele matematice de optimizare de ansamblu, sînt utilizate modele matematice de planificare a sistemelor. În lucrare se descriu pachetele de programe utilizate, se subliniază principalele lor aspecte cu accent pe considerarea fiabilităţii în energetică. Se prezintă de asemenea considerente privind conducerea prin dispecer şi se schiţează concepţia unei baze de date informatizate a proiectării.

Among the concerns of our experts engaged in National Power System design, one can mark out the tendency to use the computation technique on an ever larger scale and in all stages of development. As a result, various aspects related to this concern become more and more complex to deal with : electric power consumption is no longer separated from the overall power consumption, the development of power system components is expressed by mathematical models for an overall optimization. For the system planning, mathematical models are used. The paper describes the programme packs used and underlines their main aspects, laying stress on reliability in the power field. Considerations regarding the load control center monitoring and the concept of the design coded data base are also included in the paper.

Prezentare generală

Energia electrică condiţionează întreaga activitate economică şi socială a ţării noastre, ea trebuind să fie livrată în condiţiile de cantitate şi calitate cerute de economia naţională. Din această cauză, se poate spune că sistemul energetic naţional reflectă cel mai bine situaţia şi cerinţele economiei naţionale.

În prezent, în întreaga ţară se pune un accent deosebit pe creşterea eficienţei în realizarea de noi obiective şi în funcţionarea celor existente, prin modernizarea lor. În ceea ce priveşte sistemul energetic naţional, aceste cerinţe se traduc printr-o utilizare cît mai raţională a resurselor energetice ale ţării, o fundamentare cît mai judicioasă a noilor obiective şi funcţionarea cît mai eficientă a instalaţiior existente, urmărindu-se , ca element de bază, modificarea vechilor întreprinderi.

* Dr. ing. Anca Popescu, dr. ing. George Manolescu, ing. Hermina Albert, mat. Gheorghe Vâlcereanu, dr. ing. Emil Costin, ing. Mihai Săndulescu — Institutul de Studii şi Proiectări Energetice, Bucureşti.

În cele ce urmează se prezintă unele din preocupările specialiștilor care lucrează în domeniul dezvoltării sistemului energetic național.

Elemente de bază în etapa actuală la proiectarea dezvoltării sistemului energetic național

Dezvoltarea optimizată a sistemului energetic necesită studii ample vizînd, în principal, componentele esențiale ale sistemului și anume consum, centrale și rețele electrice.

Crizele de energie din deceniul trecut au determinat acțiuni intense de economisire a energiei, în ansamblu, sub toate formele sale. În etapa actuală, progresul tehnic permite transferul de la o formă de energie la alta destul de eficient sub aspect energetic. În sfîrșit, este de menționat că, indiferent de evoluțiile energetice înregistrate în trecutul îndepărtat sau mai apropiat, energia electrică este întotdeauna preferată, datorită avantajelor pe care le prezintă față de alte forme de energie. Acțiunile recente de creștere a autonomiei energetice, prin dezvoltarea programelor nucleare și a amenajărilor hidro a căror protecție se utilizează numai sub formă electrică, au intensificat preferința pentru energia electrică. În aceste condiții, energia electrică s-a bucurat de un ritm mult mai intens de dezvoltare decît cel al energiei primare, înregistrîndu-se un proces permanent de creștere a gradului de electrificare.

Ca urmare, vechile metode de prognoză și normele de consum pentru energia electrică au trebuit să fie reconsiderate și, în plus, nu se mai pot elabora prognoze ale consumului de energie electrică decît în contextul dezvoltării generale a consumului de energie primară.

În domeniul centralelor electrice sarcina de bază constă din valorificarea în centralele termoelectrice a cărbunilor inferiori de care dispune țara noastră, urmărind eliminarea de hidrocarburi care pot fi folosite mai eficient în alte ramuri ale economiei naționale. În cadrul acestor centrale termoelectrice este de menționat extinderea termoficării, ca o formă de eficiență superioară în utilizarea resurselor energetice ale țării. Aceasta a determinat realizarea, în etapa actuală, de centrale termoelectrice numai de termoficare, nemairealizîndu-se noi centrale termoelectrice de condensație.

În spiritul aceleiași eficiențe crescute în valorificarea zestrei energetice a țării trebuie menționat programul nuclear, care este în curs de implementare și care constituie elementul de bază în dezvoltarea viitoare a centralelor electrice.

Una din condițiile de bază a acestor centrale nuclearoelectrice o constituie siguranța în funcționare și continuitatea funcționării la sarcină constantă. Din aceste motive, fiecare centrală nuclearoelectrică necesită studii speciale de integrare a lor în sistem din punctul de vedere al încadrării în curbele de sarcină, al realizării liniilor de evacuare a puterii în sistem și al alimentării de bază și de rezervă a serviciilor interne.

Alături de centralele termoelectrice și nuclearoelectrice, trebuie luate în considerație și centralele hidroelectrice cu acumulare prin pompaj. Realizarea lor este determinată atît de centralele nuclearoelectrice a căror funcționare în regim constant se impune, cît și de viitoarele dezaplatisări ale curbelor de sarcină și care vor necesita transferuri de putere electrică din orele de gol în orele de vîrf.

În domeniul rețelelor electrice, în anii trecuți s-a introdus treapta tensiunii de 750 kV. Studiile elaborate în etapa actuală vor trebui să arate în ce măsură este necesară extinderea acestei noi trepte de tensiune, din motive interne, de transport sau corelat cu viitoarele interconexiuni ale țării. În cadrul acestor studii va trebui să se țină seama și de actuala cerință a economiei naționale de valorificare cît mai eficientă a traseelor existente de linii electrice, eventual prin reconstruirea liniilor din traseele respective, în cadrul acțiunii de sistematizare a rețelelor electrice. Este de menționat totodată faptul că relativa creștere a prețului energiei electrice a furnizat alegerea de soluții cu pierderi minime, cum ar fi creșterea secțiunii liniilor, extinderea transportului direct și eliminarea treptelor intermediare de tensiune (de exemplu 220 kV).

În sfîrșit, trebuie menționat faptul că, în condițiile unei exigențe sporite în funcționarea sistemului energetic și în alimentarea cu energie electrică a consumatorilor se pune un accent deosebit pe dezvoltarea activității de dispecer pe diferite trepte prin folosirea tehnicilor moderne de informatică-calculatoare.

II. Metode și programe de calcul pentru dezvoltarea componentelor sistemului energetic

1. Metodele matematice pentru prognoza consumului de energie primară

Principalele schimbări care au intervenit în prognoza energetică, față de etapa anterioară crizelor petroliere, se referă la:

— tratarea consumului de energie electrică ca parte componentă a consumului total de energie, ceea ce permite luarea în considerare a substituțiilor posibile și a intercondiționărilor existente între consumul diferitelor forme de energie;

— tratarea distinctă a consumului de energie al diferitelor sectoare ale economiei, pentru a se putea pune în evidență energointensivitatea acestora (consumul de energie raportat la valoarea producției).

În acest context au fost elaborate, în unitățile M.E.E., o serie de modele de tip input-output, un model de analiză și prognoză a dez-

voltării sistemului național al energiei României (SNER) și un model de corelare a prognozei dezvoltării energetice cu prognoza dezvoltării economice (CORENEC).

Este, de asemenea, în curs de adaptare la specificul țării noastre și implementat în ISPE, modelul integrat ENERPLAN de analiză și prognoză energetică cu ajutorul microcalculatoarelor, preluat de la Departamentul Cooperării Tehnice pentru Dezvoltare al ONU. Acesta permite rezolvarea următoarelor etape de prognoză referitoare la consumul de energie:

— crearea și întreținerea unei baze de date referitoare la consumul de energie;

— model de creștere macroeconomică, de analiză a echilibrului dezvoltării economice și energetice a țării;

— model de energie (prognoza necesarului și a modului de acoperire);

— balanță energetică.

2. Modele matematice pentru prognoza consumului de energie electrică

Aplicarea primelor modele de tip empiric, în perioada de pînă în 1960, a fost urmată curînd de adoptarea unor modele de extrapolare, tratate cu instrumente specifice matematicii statistice și teoriei probabilităților. Ulterior, s-a trecut la modele bazate pe funcții polinomiale, apoi la funcții cu saturație (curbe de tip logistic, log-logistic).

Adîncirea problematicii seriilor de timp a dus la folosirea unor modele de autoregresie și medie glisantă care tratau procesele examinate ca procese stocastice, precum și la apariția preocupărilor privind precizia prognozelor.

Dezvoltarea rapidă a economiei naționale și a necesităților energetice a făcut ca ipoteza asumată implicit prin utilizarea procedeelor prognozei prin extrapolare simplă — ipoteza stabilității raporturilor economice și a structurii acestora — să înceteze a mai satisface necesitățile sporite ale preciziei prognozei. Ca urmare, încă din perioada 1963—1964 s-a trecut la modele de tip econometric, care extrapolează corelații între parametrii economici și energetici, asigurînd prognozei o cuprindere superioară. Modelele propuse în acest sens au avut o largă aplicare și o recunoaștere și pe plan internațional. Corelațiile cel mai frecvent utilizate au fost de formă lineară, simple ori multiple.

Succesul modelului românesc s-a datorat în mare măsură relației complexe (funcție de producție de tip Colb-Douglas) pe care o realiza asemenea formă lineară simplă.

Modificarea în deceniul trecut a condițiilor energeticii mondiale și repercusiunile acestor modificări asupra energeticii și economiei românești au făcut ca nici modelele econometrice menționate să nu mai asigure prognoze de calitate satisfăcătoare. Încercările de trecere la modelarea complexă a fenomenelor energetice și economice, deși au înglobat eforturi importante, nu au dus pînă acum la rezultate mulțumitoare. Se consideră însă că noile eforturi depuse în condițiile utilizării tehnicii de calcul miniaturizate actuale vor permite să se obțină noi succese în direcția dezvoltării aplicațiilor proprii ale unor programe de calcul de deosebită complexitate care sînt în studiu în prezent.

Consumul de energie electrică prognozat cu modelele de mai sus pentru ansamblul țării și pentru principalele sectoare ale economiei, împreună cu date statistice privind variația orară a consumului în trecut și cu unele elemente noi prevăzute să apară în viitor, servesc pentru prognoza curbelor de sarcină cu ajutorul modelelor PROSIC, PROMET, ARISTO și CUBSAR și, în continuare, pentru determinarea structurii optime a centralelor electrice.

Consumul de energie electrică astfel rezultat pe ansamblul țării este repartizat, de asemenea, pe zone și centre de consum cu ajutorul modelului DAISY și va servi ca dată de intrare pentru studiile privind dezvoltarea rețelelor electrice.

3. Modele matematice de planificare a dezvoltării centralelor electrice

În această etapă, pe baza resurselor energetice disponibile și a posibilităților de a se realiza diferite tipuri de centrale electrice noi, se stabilește soluția optimă de ansamblu privind construirea de noi centrale electrice.

În perioada de început, cînd sistemul energetic avea dimensiuni reduse, studiul dezvoltării centralelor electrice se baza pe o serie de criterii deterministe, cum ar fi: rezerva de putere procentuală, ponderea celui mai mare grup în rezerva de putere etc.

Creșterea complexității SEN și exigențele sporite în stabilirea soluției optime au necesitat analiza unui număr din ce în ce mai mare de variante de dezvoltare posibile. Aceasta a dus la realizarea și utilizarea unor modele de optimizare prin programare liniară, din ce în ce mai elaborate. Primul model din această serie a fost folosit în anul 1968. El trata, în mod static, o singură perioadă de dezvoltare a centralelor, soluția sa indicînd structura optimă a centralelor electrice și modul lor de încărcare în anul final al perioadei de studiu.

Ulterior a apărut necesitatea tratării dinamice a unor etape de timp consecutive, adică a stabilirii soluțiilor optime pe fiecare etapă înlănțuite într-un program unitar. În anul 1975 a devenit operațională varianta dinamizată a modelului de optimizare a dezvoltării centralelor electrice prin programare liniară denumit DEZVOLTARE. Acesta a fost utilizat pentru studierea dezvoltării centralelor electrice în perioada 1980—2000, aplicația maximă avînd 603 variabile și 850 indicații.

Deși pentru epoca respectivă modelul DEZVOLTARE s-a numărat printre cele mai perfecționate modele de acest tip, judecat după criteriile actuale el avea o serie de limite decurgînd din însești limitele programării liniare.

Aceste limite au putut fi depășite în anul 1984, cînd, în urma adaptării la specificul țării noastre, a început să fie folosit modelul WASP-III, preluat de la AIEA, foarte cunoscut și larg utilizat pe plan mondial. Modelul WASP-III transpune pe calculator metodologia clasică de planificare a centralelor electrice, utilizînd însă instrumente matematice moderne cum ar fi : modelarea probabilistă a avariilor grupurilor energetice și a variației consumului de energie electrică, determinarea programului optim de dezvoltare a centralelor prin programare dinamică etc.

A început să fie implementat, de asemenea, pe microcalculatoarele FELIX PC din ISPE modelul integrat de prognoză și planificare energetică ENPEP (8) primit de la AIEA. Pachetul de programe ENPEP se compune din opt programe de calcul distincte cu ajutorul cărora se pot efectua :

— analize de creștere macroeconomică ;
— prognoza necesarului de energie ;
— balanță energetică ;
— prognoza curbelor de sarcină electrică ;
— bază de date cuprinzînd caracteristicile tehnice ale centralelor electrice ;
— optimizarea dezvoltării centralelor electrice ;
— evaluarea resurselor necesare (umane, financiare, materiale etc.) și a impactului ecologic al unui program de dezvoltare a centralelor electrice.

Modelul ENPEP, alături de celelalte modele și programe de calcul realizate în institut, va contribui la perfecționarea studierii dezvoltării SEN prin metodele și cu tehnicile cele mai moderne utilizate pe plan internațional.

4. Optimizarea configurației rețelelor electrice de transport

În principal, optimizarea configurației rețelelor electrice de transport necesită următoarele etape :

— stabilirea variantelor de configurație ce urmează a se compara ;
— circulațiile de puteri și nivelurile de tensiune în fiecare din variantele analizate.

În primii ani ai electrificării se precizau cîteva variante, cele mai logice, pentru care, cu ajutorul riglei de calcul, se stabileau, pe baza unui mare volum de muncă, circulațiile de putere activă. O primă etapă a constituit-o utilizarea mesei în curent continuu nu numai pentru calcule de scurtcircuit (destinația sa inițială), ci și pentru circulații de puteri active.

Apariția primelor calculatoare românești în anii '60 a dus la un mare salt în tehnica de calcul și a permis trecerea peste etapa de dotare cu o masă de calcul în curent alternativ.

Evoluția dotării cu mijloace de calcul și a tehnicii în domeniul programării liniare și a asimilării a permis optimizarea configurației de rețele electrice cu ajutorul unor metode de programare liniară și de simulare.

În acest sens în prezent se dispune de două categorii de programe și anume : unele bazate pe programarea liniară și altele bazate pe simulare.

În cadrul primei categorii (programare liniară) pe parcurs s-au elaborat mai multe programe, linearizîndu-se, pe cît posibil, datele de intrare și luîndu-se ca necunoscute fie puterile transportate, fie numărul de circuite de diferite capacități. Avantajul acestora, ca și în cazul centralelor electrice, constă în utilizarea unor programe de firmă pentru programarea liniară, iar dezavantajul, în insuficienta modelare a tuturor aspectelor, ca urmare a linearizării.

Cea de a doua categorie de programe, bazate pe simulare, stabilește de fiecare dată soluția optimă, simulînd variantele cele mai probabile și, pas cu pas, selectînd linia nouă cea mai eficientă. Deși au trebuit scrise programe speciale, ele au avantajul că modelează mai bine realitatea și gîndirea specialiștilor.

O a doua problemă se referă la stabilirea fluxurilor de putere activă și reactivă și a nivelurilor de tensiune, pe un număr de cîteva sute de noduri, consumatoare și producătoare. Metodele folosite sînt iterative, folosind în prezent diverse procedee (Seidel—Gauss, Newton etc.) de exploatare cît mai eficientă a forței de calcul disponibile, de reducere a timpului de calcul și de mărire a preciziei.

În plus, există în uz o serie de programe pentru calcule concrete de optimizări sau de comportare, pe bază de probabilități, estimînd energia medie neliviată pe diferite variante de configurații. Dintre programele folosite în acest scop, pe primul loc se situează programul ALCON, de mare complexitate, care reunește două metode de calcul al circulațiilor de puteri în rețelele electroenergetice interconectate (Siedel—Gauss și Newton), o metodă de calcul simplificată a circulațiilor de puteri active, o procedură de tratare a bazei de date generale și una de organizare, modificare și actualizare a bazelor de date specializate (pentru calcule de configurație, regimuri dinamice, curenți de scurtcircuit etc.), o procedură de calcul pentru reglajele de tensiune la noduri generatoare, autotransformatoare locale și la distanță, proceduri de calcul al bilanțurilor de puteri, import/export pe sisteme interconectate și altele.

Tot în această categorie intră programele : FAST (circulații de puteri prin metoda Newton decuplată, ultrarapidă) ; SCIT (calcule de curenți de scurtcircuit) ; RESTAL, OPTIM, NEWOPT (repartiția optimă a puterii reactive) ;

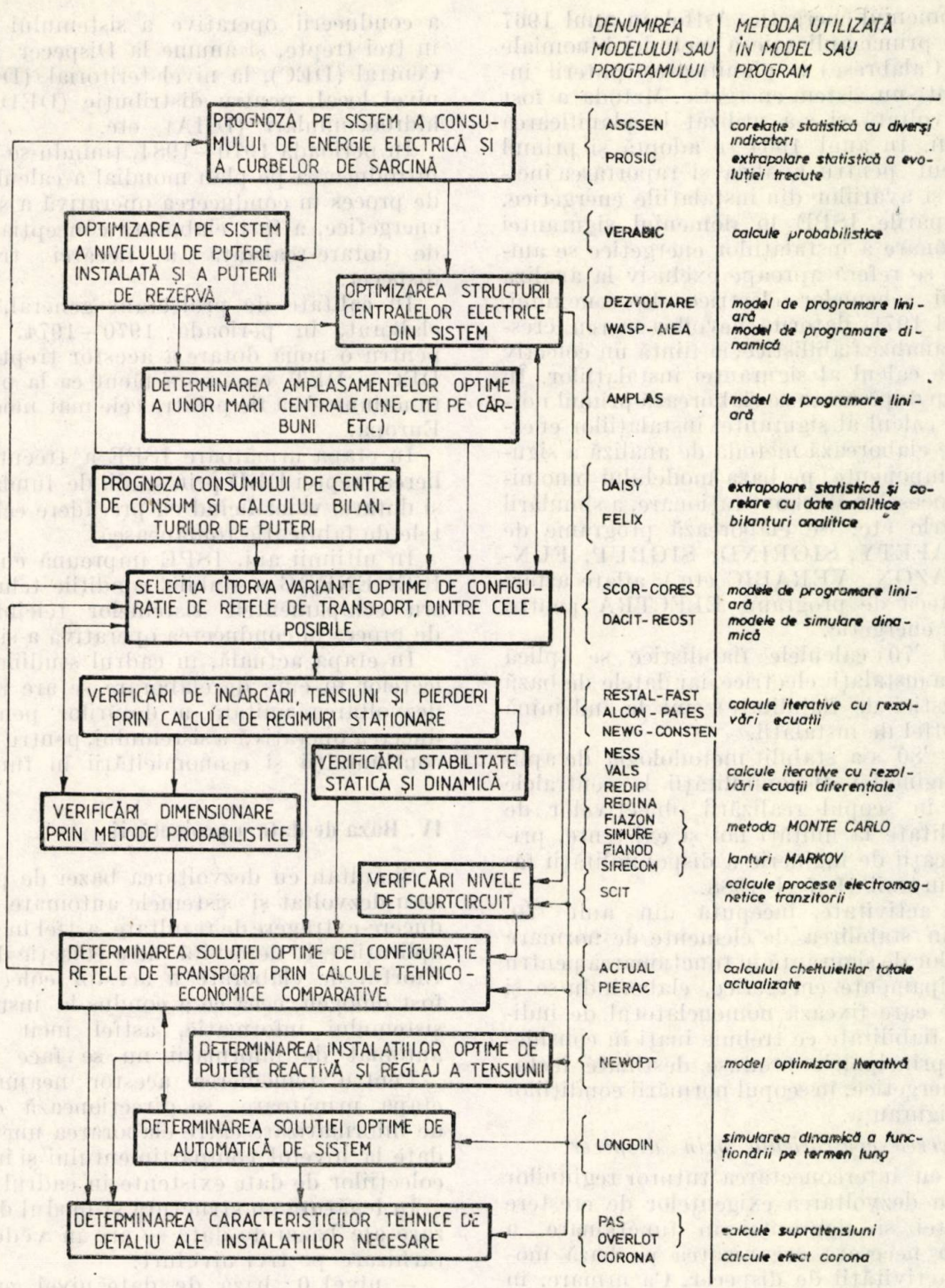


Fig. 1. Organigrama studiului optimizării dezvoltării centralelor și rețelelor de transport cu indicarea modelelor și programelor de calcul specializate.

NESS, SAMI, REDIN, STAR, LOGDIN, ARTEMIS (regimuri tranzitorii, stabilitate și mici oscilații); FIAZON, SIMURE, SIGRIND, SIGRIS (analiza siguranței în funcționare); OPTIM, ACTUAL, PIERAC (analize tehnico-economice); FASTBAZ, ERETE, PIERAC (analize tehnico-economice), FASTBAZ, ERETE, PARAMEL LEA (actualizări baze de date) etc.

5. Evoluția modului de considerare a fiabilității în energetică

În anii '60 au început primele preocupări în țară de introducere a calculelor probabilis-

tice în domeniul energetic. Astfel, în anul 1967 se face o primă aplicație a metodei binomiale (metoda Calabrese) la planificarea puterii instalate într-un sistem energetic. Metoda a fost apoi dezvoltată și s-a utilizat la planificarea sistemului. În anul 1964 se adoptă și primul regulament pentru analiza și raportarea incidentelor și avariilor din instalațiile energetice.

Preocupările ISPE în domeniul siguranței în funcționare a instalațiilor energetice se amplifică și se referă aproape exclusiv la analiza fiabilității schemelor electrice de conexiuni.

În anul 1971, datorită nevoilor mereu crescînde de analize fiabilistice, ia ființă un colectiv special de calcul al siguranței instalațiilor. În scurt timp după aceea se elaborează primul normativ de calcul al siguranței instalațiilor energetice. Se elaborează metoda de analiză a siguranței componente, pe baza modelului binominal, al proceselor Markov staționare, a simulării Monte-Carlo etc. Se elaborează programe de calcul (SAFETY, SIGRIND, SIGRUP, FUNSIG, FIAZON, VERABIC etc.), aflate astăzi în biblioteca de programe ELECTRA pentru domeniul energetic.

În anii '70 calculele fiabilistice se aplică mai ales la instalații electrice, iar datele de bază (caracteristici de fiabilitate) sînt la îndemînă pentru astfel de instalații.

În anii '80 s-a stabilit metodologia de aplicare a ingineriei disponibilității la centralele electrice, în scopul realizării obiectivelor de disponibilitate la unități noi și existente, primele aplicații de inginerie a disponibilității făcîndu-se în anii 1987 și 1988.

O altă activitate, începută din anii '70, constă din stabilirea de elemente de normare a condițiilor de siguranță în funcționarea pentru noile echipamente energetice, elaborîndu-se și standarde care fixează nomenclatorul de indicatori de fiabilitate ce trebuie luați în considerare la principalele produse destinate instalațiilor energetice, în scopul normării condițiilor privind siguranța.

6. Conducerea centralizată prin dispecer

Odată cu interconectarea tuturor regiunilor țării și cu dezvoltarea exigențelor de creștere a eficienței și siguranței în funcționare, a apărut ca necesară organizarea pe bază modernă a activității de dispecer. Ca urmare, în primăvara 1962—1967, ISPE a elaborat studiile și proiectele necesare, care au avut în vedere un sistem special teleinformatic. Cu această ocazie s-au stabilit funcțiunile fiecărei trepte de dispecer, informațiile necesare realizării funcțiunilor respective și respectiv fluxul de informații pentru fiecare treaptă de dispecer. Totodată, s-a realizat un sistem de reglaj frecvență-putere de schimb pentru urmărirea funcționării interconectate.

Studiile întocmite în continuare (primăvara 1970) au fundamentat concepția de organizare a conducerii operative a sistemului energetic în trei trepte, și anume la Dispecer Energetic Central (DEC), la nivel teritorial (DET) și la nivel local, pentru distribuție (DED), pentru hidroacumulări (DHA) etc.

În perioada 1970—1984, ținîndu-se seama de introducerea pe plan mondial a calculatoarelor de proces în conducerea operativă a sistemelor energetice, a fost elaborată concepția generală de dotare-realizată a fiecărei trepte de dispecer.

În calitate de proiectant general, ISPE a elaborat, în perioada 1970—1974, proiectul pentru o nouă dotare a acestor trepte în orice DEC și DET, ceea ce a făcut ca la punerea în funcțiune el să fie printre cele mai moderne din Europa.

În etapa următoare ISPE a trecut la detalierea treptei DED prin studii de fundamentare și dotare, valorificînd cu precădere echipamentele de fabricație românească.

În ultiimii ani, ISPE împreună cu DEN și ICEMENERG a stabilit condițiie tehnice pentru echipamentele sistemelor teleinformatice de proces în conducerea operativă a sistemului.

În etapa actuală, în cadrul studiilor și proiectelor în curs de elaborare se are în vedere dezvoltarea unitară a dotărilor pentru conducerea operativă a sistemului, pentru creșterea continuității și economicității în funcționare.

IV. Baza de date a proiectării

Simultan cu dezvoltarea bazei de programe s-au dezvoltat și sistemele automate de introducere-extragere de rezultate, astfel încît fiecare aplicație este deservită de o colecție de fișiere. Efortul de elaborare a acestor colecții nu a fost omogen, ceea ce a condus la insularizarea sistemului informatic, astfel încît schimbul automat de informații nu se face integral.

Pentru remedierea acestor neajunsuri, în etapa următoare se direcționează eforturile de informatizare către elaborarea unei baze de date la nivelul compartimentului și integrarea colecțiilor de date existente în cadrul acesteia.

În legătură cu structura și modul de organizare ale bazei de date se are în vedere o ierarhizare pe trei niveluri:

— nivel 0: baza de date nivel general;

— nivel 1: colecții de fișiere specializate pe activitate;

— nivel 2: colecții de fișiere specializate în date ieșire.

Pentru nivelul 0:

A. Fișiere permanente de tip ARHIVA;
B. Fișiere permanente de tip TOPOLOGIE;
C. Fișiere permanente de tip COORDONATE.

Datele pe nivelurile 1 și 2 vor fi structurate pe activități:

— prognoză energie;

— prognoză consumuri ;
— dezvoltare centrale ;
— regimuri permanente ;
— calcule scurtcircuite ;
— stabilitate statică ;
— stabilitate dinamică ;
— calcule siguranță ;
— încadrări platforme industriale.

Nivelul 0 se organizează pe calculatoarele FELIX PC, prin utilizarea sistemului dBASE III, datele fiind stocate pe un suport magnetic aferent unui calculator de tip CORAL din dotare prin intermediul a două linii de comunicații.

Nivelurile 0 se organizează pe calculatoarele FELIX PC, prin utilizarea sistemului dBASE III, datele fiind stocate pe un suport magnetic aferent unui calculator de tip CORAL din dotarea CCE prin intermediul a două linii de comunicații.

Nivelurile 1 și 2 vor fi exploatate pe sistemele FELIX PC din dotările în secții, prin intermediul microsistemelor CUB-Z din dotarea colectivelor. Interconectarea sistemelor se va realiza pe baza unei rețele neomogene de interconectare a calculatoarelor, ca și prin realizarea unor utilitare de comunicație prin intermediul interferențelor seriale PS 232.

Concluzii

În prezent, pentru planificarea dezvoltării sistemului energetic există în ISPE un ansamblu de circa 60 de modele și programe noi de calcul, integrate într-un sistem unitar care, practic, acoperă toate etapele de studiu, așa după cum se arată și în organigrama alăturată. Aceste modele și programe de calcul sînt perfecționate și actualizate permanent, în corelație cu evoluția metodelor de prognoză și planificare energetică și a tehnicii de calcul.

În acest scop, în cadrul ISPE, s-a organizat un centru de calcul, care în prezent este dotat cu două calculatoare FELIX C—1024 și un calculator CORAL 4030, utilizînd o memorie centrală de 3072 KO, 15 unități de discuri magnetice și 12 unități de benzi magnetice. În plus, în cadrul colectivelor de proiectare sînt în uz peste 50 minicalculatore de diferite tipuri (CUB Z, JUNIOR, FELIX — PC etc.).

(Primit la 22 iulie 1989, acceptat la 3 august 1989

Evoluții recente și perspectiva legăturilor de interconexiune în curent continuu din Europa

Dr. ing. LIVIU GROZA, ing. FLORENTINA MIHĂILESCU*

Descriptori: sisteme electroenergetice, transport curent continuu de înaltă tensiune

Lucrarea prezintă situația actuală a interconexiunilor europene în curent continuu. Se scoate în evidență evoluția schimburilor de energie electrică realizate prin intermediul sectoarelor de curent continuu între marile grupări energetice europene. Se prezintă evoluția cheltuielilor de investiții în stațiile de curent continuu. Se remarcă avantajele utilizării tehnologiilor în curent continuu în scopul creșterii fiabilității și eficienței interconexiunilor energetice internaționale.

The present DC European interconnection is shown. The development of electricity exchange by HVDC transmission between large European networks is taken into consideation.

The investment cost evolution of DC equipment is represented.

The advantage of the DC power transmission technology in reliability and efficiency of the international interconnexion is taken into account.

Introducere

Avantajele tehnico-economice pe care le oferă curentul continuu de înaltă tensiune (CCIT) față de cel alternativ (CAIT) pentru interconexiunile sistemelor electroenergetice naționale sau grupărilor acestora, au contribuit în mare măsură la extinderea capacităților acestui fel de instalații [1] (fig. 1).

Atît instalațiile de CCIT, cît și cele de CAIT evoluează în mod impresionant ca performanțe tehnologice însă este din ce în ce mai evident că pentru interconexiunile sistemelor mari balanța înclină mai mult în ultima vreme înspre CCIT. Echipamente noi, costuri mai mici, asigurarea unei independențe în funcționare și protecția mărită împotriva extinderii avariilor, sînt factori de care se ține seama în această evoluție. În interconexiuni foarte extinse [2, 3, 4], după cum rezultă și din analize făcute în țara noastră [5, 6, 7], se adoptă în

* Dr. ing. Liviu Groza, ing. Florentina Mihăilescu — Institutul de Studii și Proiectări Energetice, București.

numeroase cazuri soluția CCIT, aceasta fiind mai viabilă.

Grupurile sistemelor energetice europene, atît din est, cît și din vest, exploatează și proiectează asemenea instalații [4, 8]. CEE/ONU, CAER și UNIPEDE au inițiat și urmăresc proiecte de mare anvergură, în care se dă preferință CCIT [9, 10, 11, 12, 14].

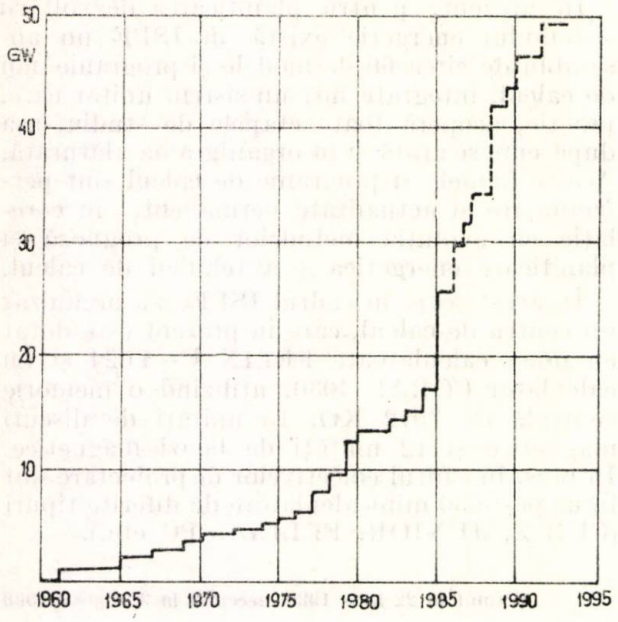


Fig. 1. Evoluția capacităților de transport în CCIT pe plan mondial, 1960—1985 : — sisteme în funcțiune ; — — — sisteme în faza de concepție sau proiectare.
Sursă : D. Povh, CCE/ONU, EP/SEM. 10/R 102, 1985

Remarcăm totuși că încă nu este hotărît totul în această competiție. CAIT încă nu și-a spus ultimul cuvînt și orice studiu pentru un nou proiect prezintă și această alternativă [2, 3, 13].

1. Situația actuală a interconexiunilor europene

Volumul crescînd al schimburilor de energie între țările europene a dus la dezvoltarea corespunzătoare a legăturilor de interconexiune între țări și la întărirea sistemelor electroenergetice naționale.

Considerente tehnice și economice ale celor patru grupări mari de interconexiune UCPTE, DCD—SEI, NORDEL și Anglia—Irlanda (fig. 2), ce aparțin unor concepții și tehnici diferite, au dus pînă în prezent la necesitatea interconectării lor în curent continuu de înaltă tensiune (CCIT). Există încă între aceste grupări și legături în curent alternativ în 400, 220 și 110 kV, care funcționează fie insular, fie în paralel cu porțiuni din sistemele vecine. Așa este cazul interconexiunii NORDEL (fig. 3 și 4).

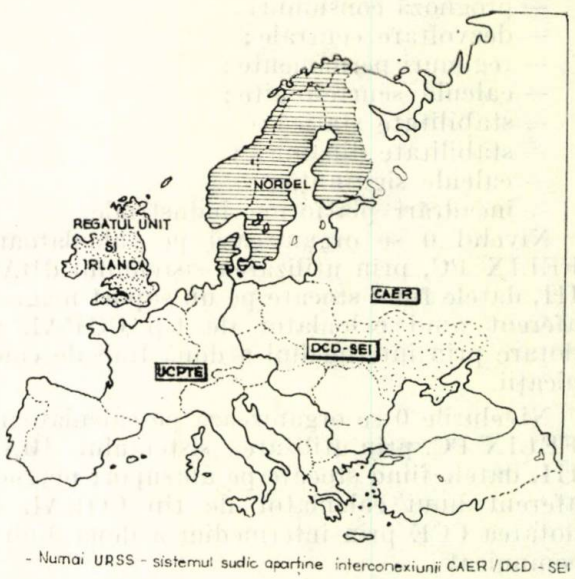


Fig. 2. Principalele grupări de interconexiuni europene. Notă. Danemarca aparține de NORDEL, dar funcționează în paralel cu UCPTE ;

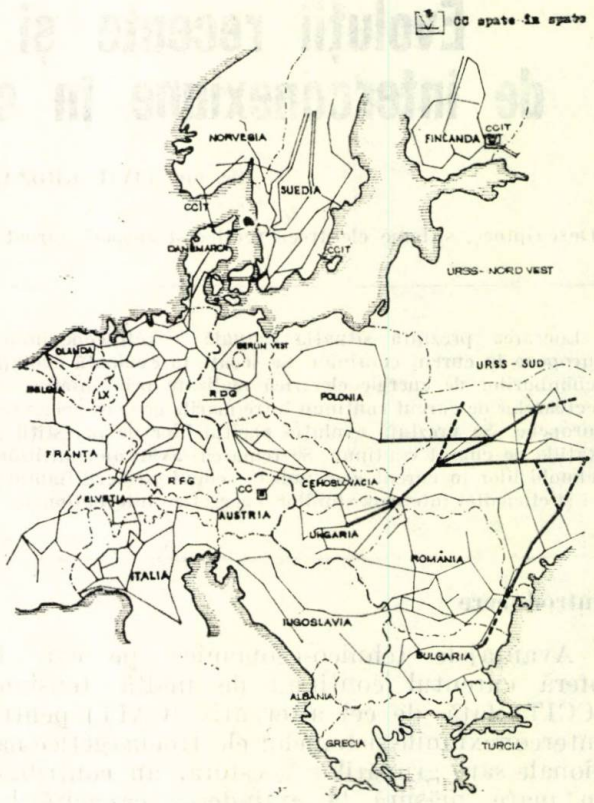


Fig. 3. Principalele sisteme de transport de energie electrică din Europa : ——750 kV ; — — —400 kV ; —.—.— granițe est-vest ; —.—.— alte granițe. (Detalii în buletinele DCD—SEI și UCPTE).

O conjunctură recentă favorabilă a impulsionat extinderea interconexiunii est-vest și în primul rînd a celei din Europa Centrală, pentru care prima legătură în CCIT a fost realizată

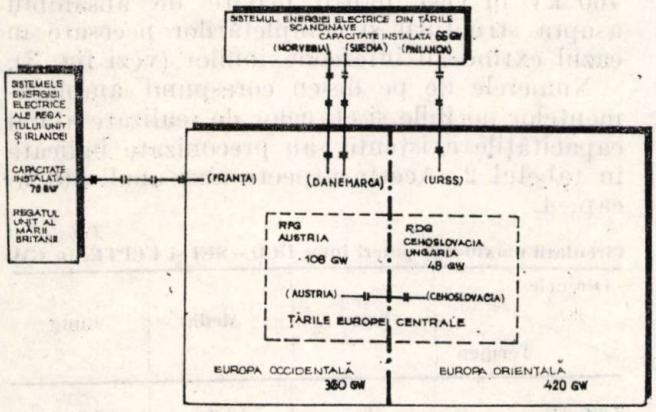


Fig. 4. Interconexiuni în CCIT între cele patru grupări europene, 1985.

încă din 1983, între Cehoslovacia și Austria. În prezent la interconexiune participă și alte țări, atît din estul, cît și din vestul Europei.

În Europa de Nord, între U.R.S.S. și Finlanda există în exploatare încă din 1980 o interconexiune CCIT. În Europa de Sud, între Bulgaria și Grecia sînt în curs studii și proiecte pentru legături în CCIT.

Situația din Europa Centrală arată totodată și calea care a dus la alegerea soluției interconexiunii în CCIT [9, 10, 14].

Situația capacității de transport a interconexiunilor în CAIT și a schimburilor de energie electrică se prezintă în cele ce urmează (fig. 5 și 6).

Evoluția capacității liniilor de transport între 1960 și 1987 arată o creștere de la 400 la 1430 MVA, adică de 3,6 ori (vezi fig. 5). Ele au asigurat circa 1/3 din schimbul total de energie electrică est-vest, ceea ce reprezintă circa 4,2 miliarde kWh în 1986 (vezi fig. 6).

Figura 3 arată principalele artere de transport de energie electrică din Europa, cu precădere Europa Centrală.

Grupul UCPTE cuprinde opt țări fondatoare (R.F.G., Franța, Italia, Olanda, Austria, Elveția, Belgia, Luxemburg) și patru noi țări membre (Spania, Portugalia, Iugoslavia și Grecia) în cadrul cărora există și alte grupuri de coordonare (UFIPTE și SUDEL).

După cum este cunoscut, grupul DCD-DEI cu sediul în Praga include sistemele energetice ale țărilor europene membre CAER (Bulgaria, Cehoslovacia, R.D.G., Polonia, România, Ungaria și U.R.S.S. — Sistemul Sud).

NORDEL cuprinde țările nordice (Danemarca, Finlanda, Norvegia, Suedia și Islanda neinterconectată).

Anglia—Irlanda, prin poziția lor geografică, formează a patra mare grupare europeană.

Funcționarea interconectată între aceste patru mari grupări se asigură prin legături de CCIT, și anume :

—Austria—Cehoslovacia, 550 MW, ±145 kV, stația spate-în-spate (back-to-back) Dürnrohr

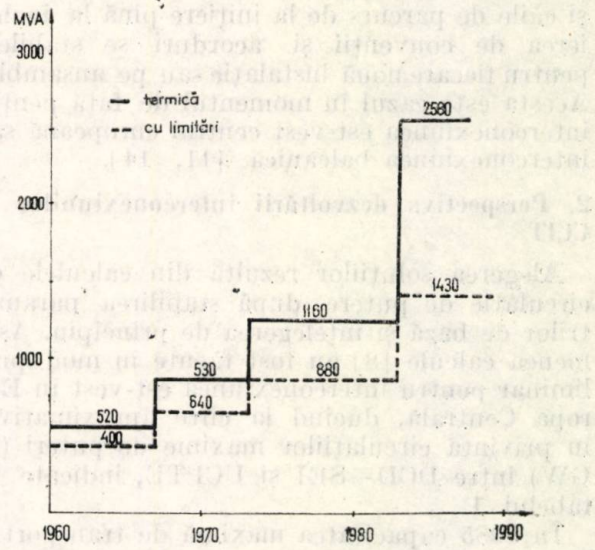


Fig. 5. Capacitatea liniilor de transport est-vest din Europa Centrală. Evoluția din 1960—1987.
Sursa : Buletin DCD—CEI, 1986.

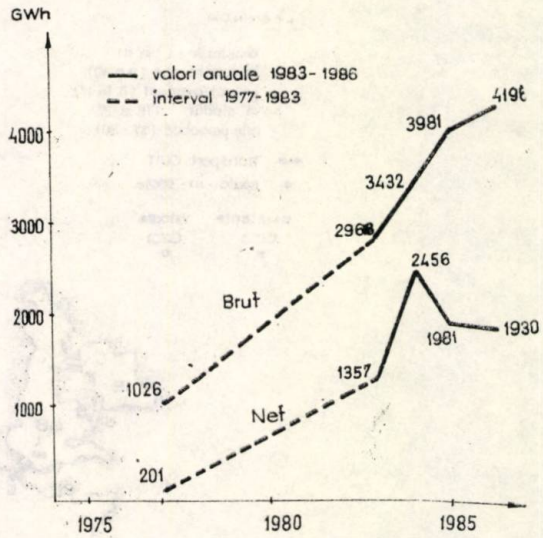


Fig. 6. Schimburi de energie electrică est-vest din Europa Centrală, 1977—1986.
Sursa : Banca de date a CEE—ONU.

în funcțiune din 1983, între UCPTE și DCD-SEI ;

— Danemarca—Norvegia, 500 MW, ± 250 kV, traversare submarină (1977) și Danemarca—Suedia, 250 MW, ±250 kV, traversare submarină, ambele între UCPTE și NORDEL (o parte din sistemul danez funcționează în paralel cu cel al R.F.G. din cadrul UCPTE);

— U.R.S.S. (nord-vest, care nu face parte ca organizare din DCD—SEI) și Finlanda, 1070 MW, ± 85×3 kV, stația spate-în-spate (back-to-back) Viborg (U.R.S.S.);

— Franța—Anglia, I și II, 160 și 2000 MW, ± 100 și ± 266 kV, funcționînd din 1961, respectiv 1986.

Metodologiile puse de acord între parteneri și căile de parcurs de la inițiere pînă la încheierea de convenții și acorduri se stabilesc pentru fiecare nouă instalație sau pe ansamblu. Acesta este cazul în momentul de față pentru interconexiunea est-vest central europeană sau interconexiunea balcanică [11, 14].

2. Perspectiva dezvoltării intereonexiunilor în CCIT

Alegerea soluțiilor rezultă din calculele de circulație de putere, după stabilirea parametrilor de bază și înțelegerea de principiu. Asemenea calcule [8] au fost făcute în mod preliminar pentru interconexiunea est-vest în Europa Centrală, ducînd la cifre aproximative, în privința circulațiilor maxime de puteri (în GW) între DCD—SEI și UCPTE, indicate în tabelul 1.

În 1985 capacitatea maximă de transport a fost de 1,4 GW, iar puterile instalate în UCPTE de 360 GW și în DCD—SEI de 420 GW.

Alegînd, din considerentele arătate, soluția de interconexiune spate-în-spate CCIT s-au conturat legături evaluate la o capacitate de 8,75 GW (fig. 7 și tabel 2).

Liniile principale de transport în Europa în 1987, dezvoltarea sistemelor de 750 kV și 400 kV în est și a sistemelor de transport de 400 kV în vest, dau o privire de ansamblu asupra structurii și completărilor necesare în cazul extinderii interconexiunilor (vezi fig. 3).

Numerele de pe desen corespund amplasamentelor posibile și etapelor de realizare avînd capacitățile existente sau preconizate indicate în tabelul 2. Aceste aspecte sînt analizate în cap. 4.

Tabelul 1

Circulații maxime de puteri între DCD—SEI și UCPTE, în GW

Direcție / Termen	Scurt	Mediu	Lung
Vest-est	6	10,4	17,2
Est-vest	4	7,2	12,1

3. Evoluții tehnico-economice ce avantajează intereonexiunea în CCIT

Dezvoltarea interconexiunilor în curent continuu are în vedere costuri mai mici, un control mai bun al consumului de energie, evitarea extinderii avariilor de la un sistem la altul, reducerea nivelului de scurtcircuit, îmbunătățirea stabilității, obiective ce se realizează prin

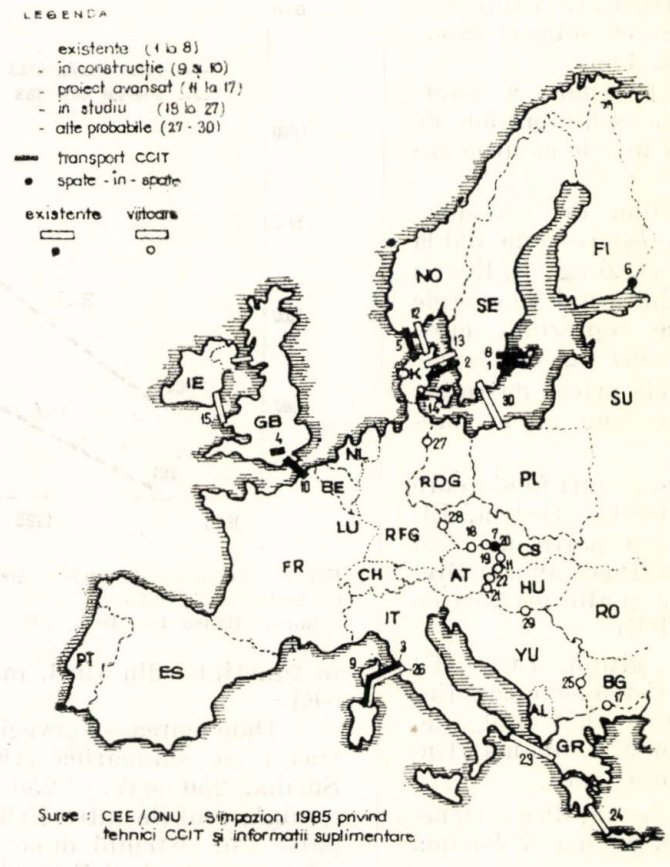


Fig. 7. Interconexiuni în curent continuu de înaltă tensiune din Europa existente sau posibile în UNIPEDE și alte țări, 1985.

Tabelul 2

Linii de interconexiune de înaltă tensiune în CCIT existente sau în perspectivă, în Europa Centrală

Nr.[1]	Linia CCIT	Tensiune c a.	Tensiune c.c.	Capacitate [MW]	În funcțiune	Terminale
7	Dürnrohr (A)— Slavetice (Cz)		145	550	1983	Dürnrohr
11	Viena S. E (A) — Györ (H)	380	145	500+(1000)		Viena S.E.
18	Ernsthofen (A) — Dasny (Cz)	380	145	550+ (1000)		Ernsthofen
19	Dürnrohr (A) — Slavetice (Cz)	380	145	1000		Dürnrohr
20	Bisamberg (A)— Sokolnice (Cz)	220	75	300		Bisamberg
21	Burgenland S (A) — Szombathely (H)	380	145	550 + (1000)		Burgenland Sud
22	Neusiedl (A) Györ (H)	220	75	300		Neusiedl
27	R.F.G. — R.D.G.			app 500		
28	R.F.G. — Cehoslovacia			app. 500		
29	Iugoslavia — Ungaria			app. 500		
30	Suedia — Polonia			app. 500		
	TOTAL			8750		

[1]) Corespunzător figurii 7.

folosirea noilor tehnologii. Dezvoltarea în viitor a unor scheme complexe în CCIT contribuie la dezvoltarea unor soluții de interconexiune a sistemelor electroenergetice mari. O trecere în revistă a tehnologiilor în domeniul curentului continuu de înaltă tensiune [4] a fost făcută la sesiunea CIGRE din 1986 și seminarul CEE de la Stockholm din 1985. Noile tehnologii permit adoptarea unor tehnici de reglaj care au funcții similare în CC și în CA în ceea ce privește flexibilitatea și ajutorul rapid în timpul unor avarii majore. Avantajul folosirii CC în cazul interconexiunilor este explicat de următorii factori :

— CCIT este singura alternativă pentru interconexiunea sistemelor energetice funcționînd la frecvențe diferite sau avînd metode diferite de reglaj al frecvenței ;

— energia transmisă pe o legătură de curent continuu poate fi controlată independent și mai exact decît pe o legătură de curent alternativ ;

— îmbunătățirea stabilității funcționării în paralel a legăturilor de curent continuu și alternativ, ceea ce dă posibilitatea extinderii legăturilor de curent continuu și introducerii lor etapă cu etapă ;

— nivelurile mai joase de scurtcircuit ca urmare a separării rețelelor de curent alternativ prin legături de curent continuu, deci cu echipamente mai ieftine (transformatoare, întrerupătoare etc.) ;

— interconexiunea și transportul pe distanțe mari sînt în unele cazuri mai avantajoase.

În plus, sînt cazuri în care interconexiunile de curent continuu reprezintă singura soluție posibilă : în cazul cablurilor submarine, al interconexiunilor, între sisteme cu frecvențe incompatibile, al sistemelor de reglaj al frecvenței diferite.

Una dintre noile tehnologii de conversie folosite în anii '70 este înlocuirea redresoarelor cu mercur cu tiristoare uscate. Aceasta a permis o reducere substanțială a pierderilor de energie, a costurilor de investiție și o nouă configurație standard a stațiilor de conversie.

Un raport UNIPEDE la seminarul CEE/ONU asupra tehnicilor de curent continuu de înaltă tensiune din 1985 [17] menționează, pornind de la costurile din 1982, următoarele tendințe de scădere a costurilor relative ale stațiilor terminale în țările din UNIPEDE și alte țări europene : 160% în 1973, 100% în 1983 și 85% în 1993. Aceasta reflectă, de asemenea, îmbunătățirea tehnologiilor referitoare la redresoare și la filtre (fig. 8, 9, 10, 11).

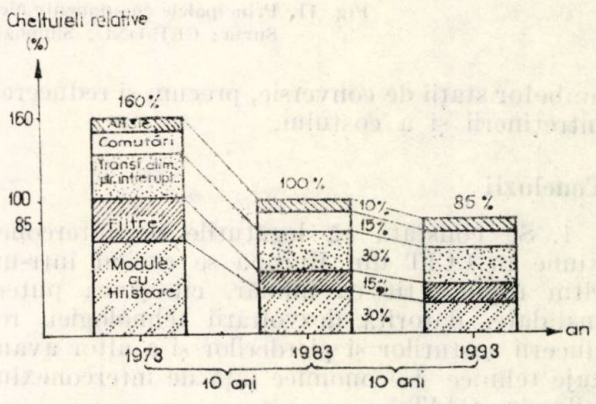


Fig. 8. Tendințe de cost în evoluția consumurilor pentru stațiile de conexiune terminale (după ASEA).
Sursa : CEE—ONU, simpozionul 1985 privind tehnici CCIT.

Introducerea noilor stații spate-în-spate (back-to-back) a permis eliminarea cablurilor sau a liniilor aeriene dintre stațiile de redresare și inversare și concentrarea în aceeași stație a

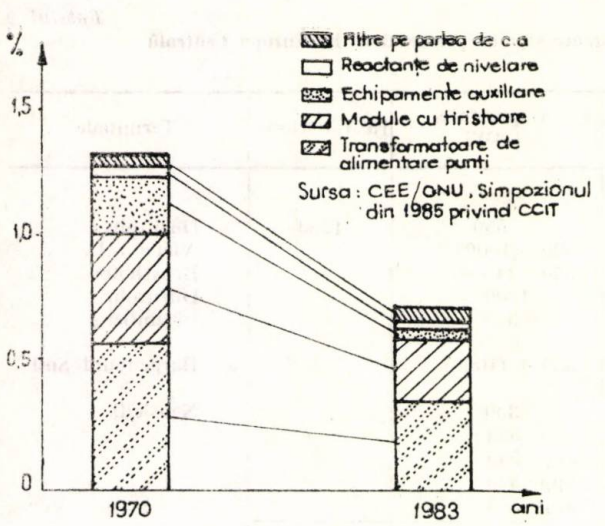


Fig. 9. Repartiția pierderilor de putere într-o stație de conversie (1970—1983).

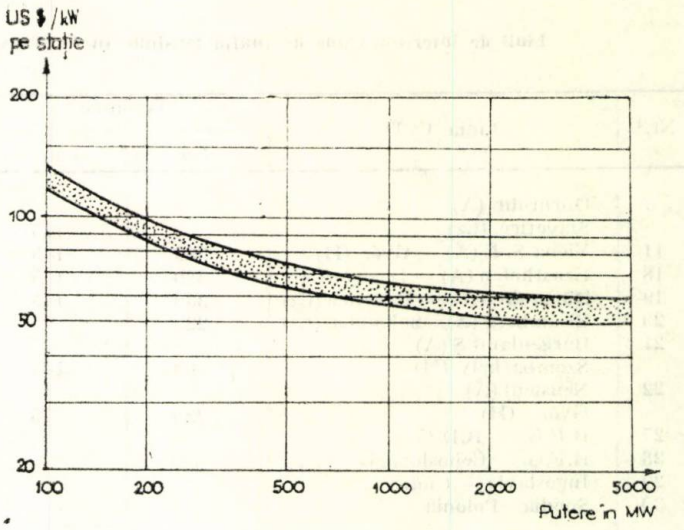


Fig. 10. Cheltuieli de investiții la o stație de conversie. Costuri 1982.

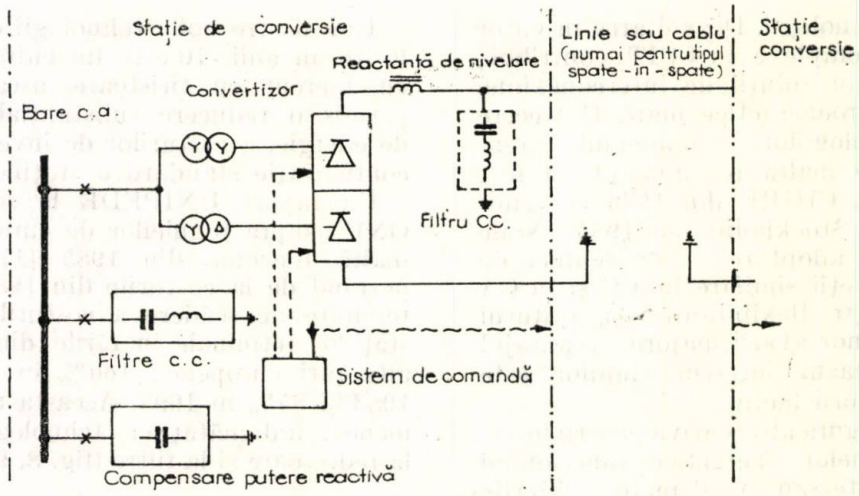


Fig. 11. Principalele componente ale unei stații de conversie. Configurație standard.
Sursa: CEE/ONU, Simpozionul din 1985 privind tehnici CCIT

ambelor stații de conversie, precum și reducerea întreținerii și a costului.

Concluzii

1. Se constată că legăturile de interconexiune în CCIT din Europa se extind într-un ritm rapid, atît ca număr, cît și ca puteri instalate, datorită dezvoltării tehnologiei, reducerii costurilor și pierderilor și a altor avantaje tehnice și economice față de interconexiunile în CAIT.

2. În momentul de față cele patru mari grupări de sisteme electroenergetice: DCD—SEI, UCPTE, NORDEL și Anglia—Irlanda sînt interconectate prin legături în curent continuu de înaltă tensiune, legăturile respective funcționînd aproape de capacitatea lor maximă, cu perspective de mărire importante.

3. Numeroase noi proiecte, aproximativ 30, în majoritate legături de interconexiune est-vest, europene, se găsesc în diverse faze de realizare. În afara acestora există și numeroase legături în interiorul sistemelor electroenergetice mari sau naționale; dintre acestea menționăm sectoarele de curent continuu în SEI aparținînd țărilor membre CAER [7].

4. Tipul de stații „spate-în-spate" (back-to—back), stații de conversie grupate într-un singur loc, pentru conversia alternativ-continuu-alternativ care se adaptează ușor legăturilor între sisteme vecine, este preferat în multe situații. Alegerea amplasării lor ține seama de direcțiile mari ale schimburilor de energie, de dezvoltarea rețelelor de transport și de interesul manifestat de țările din zone mai mult sau mai puțin extinse. Toate acestea fac obiectul unor studii care încep cu clarificarea parametrilor de bază, pînă la încheierea con-

venţiilor, a acordurilor cu alinierea standardelor, a construcţiilor modulare, fiabilităţii. S-a ajuns astfel la soluţii mai bine conturate şi adaptabile diverselor situaţii, precum şi la extinderi treptate.

5. Pentru perspectiva mai largă se examinează şi sisteme CCIT multiterminale europene care permit schimburi importante şi măresc fiabilitatea interconexiunilor.

6. Compararea cu alte alternative de transport de energie (cărbune, gaze, petrol etc.), precum şi noile raporturi economice şi comerciale între partenerii europeni (crearea pieţii unice vest-europene, eficienţa schimburilor) pot da noi impulsuri dezvoltării acestor tipuri de interconexiuni.

7. Interesul ţării noastre în urmărirea acestor realizări se poate plasa pe multiple planuri: participarea la investiţii în asemenea instalaţii [7] legate de funcţionarea interconectată, influenţa favorabilă asupra funcţionării sistemului energetic naţional prin legături cu ţările vecine, calculul regimurilor de funcţionare ce rezultă chiar şi în cazul în care asemenea instalaţii nu se află pe teritoriul ţării noastre.

Abrevieri folosite

CCIT — curent continuu de înaltă tensiune

CAIT — curent alternativ de înaltă tensiune

UCPTE — Uniunea pentru Consumul, Producţia şi Transportul Energiei Electrice

DCD—SEI — Direcţia Centrală de Dispecer — Sistemele Energetice Interconectate

UNIPEDE — Uniunea Internaţională a Producătorilor şi Distribuitorilor de Energie Electrică

NORDEL — Uniunea Sistemelor Energetice din Ţările Scandinave

CEE — ONU — Comisia Economică pentru Europa — ONU

UFIPTE — Uniunea Franco-Iberiană pentru Producţia şi Transportul Energiei Electrice

SUDEL — Uniunea Sistemelor Electroenergetice din Sudul Europei

Bibliografie

[1] Povh, D. *Evoluţia capacităţilor de transport în CCIT pe plan mondial.* CEE/ONU. EP/Sem. 10/R.102, 1985.

[2] Dimo, P. *Sistemul energetic planetar.* Editura Academiei Române, Bucureşti, 1988.

[3] Venikov, V. A. *Sistemul energetic unificat. A fi sau a nu fi.* În: Elektricestvo, nr. 3, 1987.

[4] CEE/ONU — *Experienţe în domeniul echipamentelor de curent continuu de înaltă tensiune în instalaţiile existente. Situaţia actuală şi dezvoltarea viitoare.* UNIPEDE. EP/Sem. 10/R. 105, 1985.

[5] Arie, A., Pavel, E. *Transportul energiei electrice în curent continuu de înaltă tensiune. Situaţia actuală.* In: Energetica, 36, nr. 1, 1989, p. 1—8.

[6] Eremia, M. *Transportul energiei electrice în curent continuu.* In: Buletinul Institutului Politehnic Bucureşti, 1987.

[7] Sevastru, A., Mihăilescu, F. *Problemele tehnice şi economice ale variantei de separare a interconexiunilor internaţionale prin secţioare de curent continuu.* Al 7-lea Simpozion de siguranţă, 1985.

[8] Savenko, Yu., Samkov, M. *Tendinţe de dezvoltare a schimburilor de energie electrică între sistemele energetice ale ţărilor europene.* Buletinul CAER de informaţii, nr. 3, 1982.

[9] CEE/ONU — *Interconexiunea sistemelor de transport de energie electrică a ţărilor din estul şi vestul Europei* (ECE/EP/55), Geneva, 1983.

[10] CEE/ONU — *Interconexiunea electrică între Europa de Est şi Vest. Schimburi de electricitate posibile.* În: Buletinul economic pentru Europa, vol. 33, nr. 3, pp. 239—246, 1981.

[11] CEE/ONU, PNUD — *Studii referitoare la interconexiunea reţelelor ţărilor balcanice în perioada 1975—1981.* Raport de sinteză. ECE/UNPD/DI/1, 1982.

[12] * * * — *Documentaţii publicate de CEE/ONU, CAER, UNIPEDE, NORDEL, CIGRE, CME, DCD—SEI, UCPTE, PNUD.*

[13] CEE/ONU — *Curent continuu sau curent alternativ* Electricité de France. EP/Sem. 10/R. 50, 1985.

[14] Groza, L. *Interconexiunea reţelelor electrice din Europa centrală. Elemente de fundamentare tehnică şi economică.* CEE/ONU, Geneva, 1988.

(Primit la 22 iulie 1989, acceptat la 2 august 1989)

Impactul amenajărilor hidroenergetice și hidrotehnice asupra mediului ambiant

Ing. DAN DOBRESCU, ing. LIANA MARIA GOMBOȘIU*

Descriptori: amenajări hidroelectrice și hidrotehnice, ecologie

Lucrarea prezintă, pe scurt, abordarea pe plan mondial a noțiunii de impact al amenajărilor hidroenergetice asupra mediului ambiant.

Sînt trecute în revistă efectele oricărei construcții hidroenergetice asupra cursului de apă pe care este amplasată, asupra controlului viiturilor și eroziunilor, asupra vegetației și faunei din zonă, climei, condițiilor socio-economice din amplasament ș.a.

Preocupările ISPH privind interacțiunea lac de acumulare — mediu ambiant sînt detaliate ținînd cont de existența, în țara noastră, a unei legi-cadru pentru protecția mediului înconjurător, cît și de faptul că în perioada 1991—2010 se va amenaja integral potențialul hidroenergetic al rețelei hidrografice din România, ajungîndu-se la un total de 1400 lacuri de acumulare cu un volum de circa 34 miliarde m³ de apă.

În vederea realizării de construcții pentru viitor, capabile să creeze o nouă ambianță în zona amplasamentului, se insistă și asupra formării unei gîndiri ecologice a inginerului.

This paper presents the worldwide approach of the impact notion of hydropower settlements on the environment.

The consequences of any hydropower construction on the water flow it is located on, on the floods and erosion survey, on the area's flora and fauna and climate, on the social and economic conditions at the settlement location a.s.o. are enumerated.

The concerns of the Hydropower Studies and Design Institute regarding the interaction storage lake — environment are detailed taking into account the existence in our country of environmental protection laws as well as the fact that during the years 1991—2010 the hydropower potential of the hydrographic network of Romania will be completely harnessed, resulting in a total of 1400 storage lakes with a water volume of about 34 billion m³.

In order to build future constructions which are to create a new atmosphere around the settlement the engineer must acquire an ecological way of thinking.

Acțiunile umane din ultimul timp afectează în mult mai mare măsură lumea înconjurătoare decît în trecut. Intervențiile adeseori agresive în economia naturii, perturbarea echilibrului ecologic, conduc la o criză ambientală de proporții mai reduse sau mai mari, pe zone mai restrînse sau mai largi, această situație fiind recunoscută de specialiștii în materie și de organismele internaționale avînd ca obiect ecologia. Se remarcă, în ultimii ani, un consens pe plan mondial pentru a stopa efectele negative ale crizei mediului ambiant, ceea ce confirmă afirmația unui ecologist de prestigiu că: *„criza ambientală nu este o simplă banalitate, nici un entuziasm pasager"*.

Amenajările complexe ale cursurilor de apă și, în special, marile amenajări reprezintă acțiuni ale omului cu impact adeseori important asupra mediului înconjurător.

Preocuparea specialiștilor pentru acest impact a început aproximativ odată cu mișcarea generală de protejare a mediului ambiant, prin anii '60. În scurt timp a devenit, pe plan mondial, o realitate tot mai evidentă că, odată demonstrată eficiența economică a unui proiect, nu este indiferent unde și în ce fel acesta va fi realizat.

Deși dintre amenajările complexe care caracterizează activitatea umană — tot mai extinsă în direcția urbanizării, industrializării, agriculturii — construcțiile hidroenergetice se numără printre cele cu efecte mai puțin perturbatoare ale mediului înconjurător, cîteva așa-numite „catastrofe ecologice" înregistrate au reprezentat un serios semnal de alarmă. Este vorba de acumularea Kariba (realizată în anul 1958, cu o suprafață de 5364 km²) care a produs, pe de o parte, un pronunțat dezechilibru în balanța ecologică a regiunii, favorizînd — printre altele — răspîndirea unor boli grave și, pe de altă parte, a reprezentat un grav impact social făcînd necesară strămutarea unei populații tribale de peste 50 000 locuitori.

Realizarea barajului de la Assuan (anul 1970) a întrerupt transportul de aluviuni fertile care a stat încă din cele mai vechi timpuri la baza agro-economiei Egiptului. Modificarea cantității de aluviuni a provocat eroziuni în aval, modificări nedorite de faună și floră în delta Nilului. Totodată, lacul de la Assuan, situat într-o regiune de intense evaporații, a început să acumuleze săruri în cantități periculoase pentru folosințele agricole din aval.

La cel de al 11-lea Congres al Marilor Baraje, ținut în anul 1973, la Madrid, au fost puse în discuție patru mari probleme, din care

* Ing. Dan Dobrescu, ing. Liana Maria Gomboșiu — Institutul de Studii și Proiectări Hidroenergetice — I.S.P.H., București

una (Q. 4b) a fost tocmai aceea a consecințelor construirii de baraje asupra mediului înconjurător. Concluziile discuțiilor — care s-au desfășurat într-un climat de acceptare de către ecologi a necesității execuției barajelor și protejării calităților mediului ambiant în zona amplasamentului construcției hidrotehnice de către proiectanți și constructori — s-au referit la faptul că barajele sînt construite pentru a fi utile omului și trebuie astfel realizate încît să afecteze în cît mai mică măsură posibilă ecosistemele existente în zonele amplasamentului.

Problema efectelor barajelor și lacurilor de acumulare asupra mediului înconjurător a fost reluată și în anul 1975, în Mexic, la cel de al 12-lea Congres al Marilor Baraje.

Ideea protejării marilor valori ecologice internaționale a progresat în rîndurile factorilor interesați, ridicînd o serie de probleme, ca: evaluarea ecologică a marilor cursuri, de apă, stabilirea unor „grade de neînlocuire" pentru fiecare curs de apă.

Comitetul privind efectul barajelor asupra mediului înconjurător de pe lîngă Comisia Internațională a Marilor Baraje, înființat în anul 1972, a prezentat, în anul 1980, un raport al activității sale cuprinzînd o matrice de impacte. In mod curent sînt definite, ca „impacte" schimbările în variabilele mediului ambiant (denumite atribute) sau în relațiile dintre ele. Evaluarea impactului asupra mediului ambiant reprezintă măsurarea atributelor ambientale, cu și fără activitatea proiectată în zonă, într-un moment dat. Datorită naturii complexe a mediului înconjurător, o listă a atributelor ambientale nu poate fi completă și nu poate cuprinde toate posibilitățile de impact.

Matricea propusă, cu caracter general și de largă aplicabilitate, face posibilă realizarea unui inventar și apoi o evaluare calitativă (sau relativă) a impactului barajului asupra zonei amplasamentului. Matricea reprezintă mai ales o bază de gîndire și, împreună cu situația ecologică a zonei, conduce la posibilitatea ca factorii de decizie să prevadă măsuri paleative privind efectele negative ale barajelor asupra amplasamentului, cît și măsuri de punere în valoare a efectelor pozitive.

Orice studiu de impact este necesar a fi elaborat în faza de început a celorlalte studii pentru o amenajare hidroenergetică, urmînd a fi completat pe parcursul construcției și exploatării amenajării respective. Dacă o serie de aspecte pot fi anticipate înainte de începerea lucrării, unele se cer urmărite odată cu studiile de fezabilitate, organizare de șantier, începerea lucrărilor. În condițiile unei acumulări cu adîncime de 80—100 m și peste, este de așteptat apariția unei seismicități induse în zonă, dar aceasta nu se poate constata decît la umplerea lacului.

Sînt bine cunoscute astăzi efectele oricărei amenajări hidroelectrice în primul rînd asupra cursului de apă pe care este amplasată. Se înregistrează efecte asupra apelor de suprafață, cît și asupra celor subterane, asupra controlului viiturilor și eroziunilor, asupra vegetației și faunei în zonă, asupra calității apei și a climei. Nu sînt de neglijat, mai ales pentru amenajările de anvergură, problemele socio-economice ale strămutării populației din zonele viitorului lac și cele ale concentrării temporare, pe durata construcției, a unui număr mare de lucrători, utilaje, materiale.

Efectele asupra mediului înconjurător sînt diferite de la o amenajare la alta, în funcție de condițiile locale și de scara amenajării. Acestea nu trebuie neglijate nici la amenajările de mică importanță, dovedindu-se a fi adeseori, și în astfel de situații, cu mari consecințe pentru zona amplasamentului sau în aval.

Dezvoltarea economică și socială în ritm accelerat a țării noastre a pus o multitudine de probleme legate de utilizarea rațională a resurselor lumii vii și de protejare a ambianței, îndeosebi a mediului construit și folosit de om. Este semnificativ faptul că România este una dintre primele țări din lume care dispune de o lege-cadru pentru protecția mediului înconjurător, și anume Legea 9/1973, completată cu o serie de alte acte legislative, printre care Legea apelor (1974), Legea pentru amenajarea bazinelor hidrografice (1976). Există o preocupare la toate nivelurile pentru rolul imens pe care îl deține mediul de viață în dezvoltarea societății și pentru poziția cheie pe care o deține ecosfera în menținerea calității vieții. În documentele de partid se arată că: „*în dezvoltarea economică-socială a tuturor zonelor țării se impune să acordăm o atenție deosebită asigurării echilibrului ecologic al naturii, să acționăm cu toată hotărîrea împotriva fenomenelor de poluare, să păstrăm apa limpede și curată, să apărăm pădurile, să dezvoltăm noi spații verzi, să asigurăm aerul curat*".

În ultimii ani, I.S.P.H. a solicitat, pentru cîteva hidroamenajări în proiect, întocmirea de studii ecologice asupra zonelor ocupate de viitoarele lacuri de acumulare, fără însă ca acestea să fie valorificate într-un studiu complet de impact. Sînt de menționat studiile privind conservarea cadrului natural în zona lacului de acumulare Gura Apei de pe Rîul Mare — Retezat (1973), în zona bazinelor rîurilor Bistra și Rusca (1978), în zonele afectate de barajul Surduc—Siriu din bazinul superior al rîului Buzău (1979), studiul ecologic pentru amenajarea Dunării aval.

Studiile sus-amintite, desfășurate pe o perioadă de cel mult 2 ani, au cuprins descrieri ale cadrului natural al zonei, situația la momentul respectiv a florei și faunei, prognoze ale evoluției ecosismelor acvatice și terestre ca

urmare a creării lacurilor de acumulare, unele recomandări și propuneri — destul de sumare — în vederea micșorării gradului de afectare a ecosismelor, pentru protecția și refacerea lor.

Un pas înainte s-a făcut pentru amenajarea hidroenergetică a rîului Olt, pe sectorul Avrig—Făgăraș, la care colaborarea cu Institutul Central de Biologie a început din faza inițială a proiectării. Studiul are ca scop investigarea și stabilirea măsurii în care lacurile de acumulare ce se realizează în zona Avrig—Făgăraș vor putea deveni, în condițiile specifice zonei, ecosisteme de interes economic, socio-cultural și propunerea soluțiilor pentru valorificarea ecosistemelor nou create, în vederea creșterii calității mediului ambiant.

Începuturile utilizării energiei apei în scopul producerii de energie electrică datează, la noi în țară, de la sfîrșitul secolului trecut (uzinele Sadu și Cîmpina). Pînă în anul 1950, valorificarea resurselor hidroelectrice a avut un ritm lent, de la această dată începînd investigările condițiilor naturale ale tuturor bazinelor hidrografice în vederea identificării celor mai favorabile amplasamente pentru realizarea acumulărilor. La nivelul anului 1988 gradul de utilizare a potențialului hidroenergetic reprezintă circa 40% din cel total disponibil al țării. În prezent, cea mai mare parte a rîurilor din România sînt amenajate. Lacurile de acumulare de pe Bistrița, Someș, Sebeș, Cerna, Motru, Lotru, Olt și Argeș totalizează un volum de circa 3 800 mil/m³. Lacurile amenajărilor de graniță de pe Dunăre și Prut ating un volum de 4 100 milioane m³.

Este unanim acceptat faptul că, atît în etapa actuală, cît și în perspectiva dezvoltării viitoare, lacurile de acumulare reprezintă modalitatea cea mai eficientă de gospodărire a resurselor de apă sub multiple aspecte: energetic, alimentare cu apă, irigații, atenuarea viiturilor, piscicol, agrement etc.

Se estimează că, în perioada 1991—2010, se va amenaja integral potențialul hidroenergetic al rețelei hidrografice din țara noastră, ajungîndu-se la un total de 1400 lacuri de acumulare cu un volum de circa 34 miliarde m³ apă.

Rețeaua hidrografică a cursurilor de apă din România totalizează circa 100 000 km, debitul mijlociu fiind de circa 120 m³/s, ceea ce corespunde unui stoc anual de 34 miliarde m³ de apă, la care se adaugă și stocul anual de circa 180 miliarde m³ ai Dunării pe care țara noastră îl împarte cu riveranii. Se constată deci că, la nivelul anului 2010, volumul de apă stocat va fi aproximativ egal cu cel al debitului mediu anual al tuturor rîurilor de țară (fig. 1).

A existat, în ultimele decenii, tendința, pe plan mondial, de a se realiza acumulări gigant, cu volume depășind frecvent un miliard de m³, în scopul sporirii economicității marilor centrale hidroenergetice. Aceste acumulări, inundînd adeseori mii de km² de teren, au pus probleme cu totul deosebite privind influența asupra zonei, încă de la începutul execuției lor. Cu toate că în țara noastră nu există condițiile realizării unor acumulări de anvergura celor

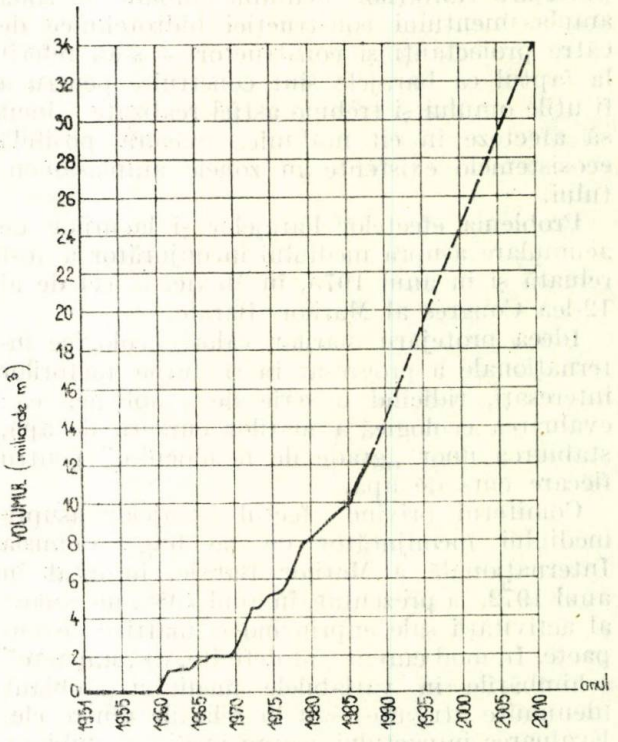


Fig. 1. Evoluția volumelor de apă acumulate în România.

realizate în Canada, Africa, sînt în prezent în curs de exploatare acumulări cu volume suficient de mari pentru ca efectele lor asupra mediului să nu poată fi neglijate (tabelul 1).

Pînă în prezent, efectele lacurilor de acumulare din țara noastră asupra mediului înconjurător nu au avut o amploare îngrijorătoare. În perioada 1950—1970, volumele relativ reduse de lucrări (circa 16 mil. m³ terasamente, repartizate pe întreg teritoriul țării) nu au avut efecte majore asupra cadrului natural. În mai puțin de 10 ani de la darea în exploatare a amenajărilor respective, natura s-a refăcut în regiunile afectate de lucrări (halde, cariere, depozite, conturul lacurilor). De menționat, în acest sens, lacul Izvorul Muntelui, amenajările în cascadă de pe Bistrița și unele de pe Argeș. În perioada următoare, 1971—1980, cantitățile de terasamente au crescut ca volum la circa 250 mil. m³, timpul de realizare a amenajărilor a fost mai scurt, mecanizarea mai intensă, toate acestea conducînd la accentuarea așa-ziselor „răni" pe care toate activitățile umane le-au adus în peisaj. Pe versanții multor lacuri au apărut alunecări superficiale, izolate. Mai importante pot fi considerate pierderile de stabilitate ale versanților pe malul stîng al lacului Izvorul Muntelui (pe o lungime de

Tabel 1

Cîteva din cele mai mari acumulări existente în România

Denumirea barajului care realizează acumularea	Anul punerii în funcțiune	Cursul de apă pe care este amplasată acumularea	Înălțimea barajului deasupra fundației (m)	Volumul lacurilor de acumulare (10^3 m^3)
Izvorul Muntelui	1961	Bistrița	127	1 230
Vidraru	1965	Argeș	166	465
Rovinari	1968	Jiu	15	100
Porțile de Fier I	1971	Dunăre	60	2 100
Vidra Lotru	1973	Lotru	121	340
Fîntînele	1978	Someșul Cald	92	225
Strâjești	1978	Olt	33	225
Stînca Costești	1979	Prut	45	1 400
Cerna	1979	Cerna	110	124
Casa	1979	Sebeș	91	136
Porțile de Fier II	1984	Dunăre	35	600
Răcăciuni	1984	Siret	29	104
Berești	1985	Siret	29	120
Frăsinet	1985	Mostiștea	24	133
Drăgan	1987	Valea Drăganului	120	112
Gura Apelor	în construcție	Riul Mare	168	225
Siriu	în construcție	Buzău	122	155

circa 250 m și o lățime de aproximativ 350 m), pe malul drept al lacului Pîngărați (pe o lungime de circa 150 m, lățime circa 300 m și 3—6 m adîncime), la canalul de fugă de la uzina Cerbureni — Argeș. Eroziuni de maluri, în lacuri, au fost constatate la Izvorul Muntelui, aproape pe întreg conturul lacului. La acumulările din zonele colinare și în jurul cărora există obiective industriale importante, sînt prevăzute, încă din faza de proiectare, măsurile necesare de protecție. Eroziuni și depuneri în aval de baraje au apărut în zona cuprinsă între barajele Izvorul Muntelui și Pîngărați, unde patul albiei s-a ridicat cu 0,5—1,5 m.

Regimul hidrologic al cursurilor de apă din țara noastră se caracterizează prin variații mari ale debitelor în cursul unui an și pe perioade de mai mulți ani. Acest regim se modifică, pentru bieful aval, funcție de volumul acumulării și de folosința principală. Acumulările mari, cu coeficient de acumulare de circa 30%, produc modificări esențiale asupra hidrografului natural (acumulările Izvorul Muntelui și Vidraru).

În ceea ce privește nivelul pînzei freatice, ridicarea acestuia pe terenurile agricole adiacente lacului, cu inundarea lor, s-a constatat la lacurile Pîngărați, Racova și Bacău I, imediat după punerea în funcțiune.

Studiile privind evoluția chimismului apelor în zona lacurilor de acumulare au pus în evidență o variație sezonieră a conținutului de oxigen a apei în lac, o scădere a durității, pentru lacul Izvorul Muntelui. După darea în exploatare a amenajării Racova s-a observat o creștere substanțială a salinității surselor de apă aval de baraj datorită devierii debitelor pe canal, care a redus substanțial debitul de diluție.

Este demonstrat că marile lacuri de acumulare creează un nou microclimat în zonă. S-au constatat schimbări în regimul ploilor, în temperatura aerului, funcție de zona geografică a amplasamentului. Din datele disponibile rezultă că lacul Izvorul Muntelui a determinat o creștere a valorilor medii lunare ale temperaturii aerului în lunile de iarnă și o scădere a temperaturii aerului în lunile de vară.

Orice acumulare creată pe un curs de apă de către un baraj este mai mult sau mai puțin expusă unor aporturi solide și depozitării lor. În timp, problema colmatării poate deveni deosebit de complexă. Pe măsură ce sedimentele se depun, capacitatea lacului se reduce, durata de folosire a acumulării este afectată și se cer luate măsuri de modificare a exploatării sau măsuri corective. Neajunsurile provocate de colmatare în exploatarea unei acumulări, cît și asupra întregului cadru ambiant, pot lua amploare, în special în zonele aride și semiaride, iar, adeseori, orice remediere se dovedește ineficientă.

Caracteristicile sedimentelor dintr-un lac variază de la o retenție la alta și fenomenul de sedimetare însuși prezintă numeroase particularități. Fenomenele de colmatare exercită o influență complexă prin impactul de ordin fizico-biologic și tehnico-economico-social asupra lacului și zonelor înconjurătoare.

Efectele sînt numeroase și afectează domenii variate, astfel:

— colmatarea cuvetei atrage după sine reducerea volumului de apă util, supraînălțarea nivelurilor în perioadele de ape mari cu inundarea sau înmlăștinirea terenurilor riverane, modificarea morfologiei malurilor, ridicarea nivelului de bază al afluenților, scăderea gradului de

Tabelul 2

Situația colmatării cîtorva lacuri de acumulare din România de la amenajările în cascadă de pe Argeș, Bistrița și Olt

Amenajarea	Acumularea	PIF	Volumul inițial ($10^6 m^3$)	Perioada urmărită	Volumul colmatat ($10^6 m^3$)	% colmatare
ARGEȘ	OIEȘTI	1967	1,77	1967-1986	1,39	78
	CERBURENI	1968	1,62	1968-1986	1,21	76
	CURTEA DE ARGEȘ	1970	1,05	1970-1986	0,82	78
	ZIGONENI	1973	13,30	1973-1986	3,40	26
BISTRIȚA	PÎNGĂRAȚI	1964	6,70	1964-1986	3,30	49
	VADURI	1965	5,00	1965-1981	0,55	11
	BÎTCA DOAMNEI	1963	10,00	1963-1980	2,40	25
	VÎNĂTORI	1963	0,43	1963-1979	0,13	28
	RACOVA	1965	8,65	1965-1979	0,97	49,5
	GÎRLENI	1965	5,10	1965-1982	1,30	25
	LILIECI	1966	7,40	1966-1983	0,80	11
	BACĂU	1966	4,00	1975-1986	0,49	10
OLT	TURNU	1982	13,11	1982-1986	5,37	41
	CĂLIMĂNEȘTI	1981	4,57	1981-1985	0,95	21
	DĂEȘTI	1976	11,70	1976-1986	5,15	44
	RÎMNICU VÎLCEA	1974	21,42	1974-1986	11,77	55
	RÎURENI	1977	10,80	1977-1986	3,90	36
	GOVORA	1975	21,40	1975-1986	6,91	32,7
	BĂBENI	1978	62,2	1978-1986	13,0	21,0

siguranță a construcțiilor și exploatării (prin obstruarea golirilor de fund și a prizelor, deficiențe în funcționarea echipamentului hidromecanic, acțiune chimică și mecanică asupra părților metalice și suprafețelor de beton, presiuni asupra barajului), precum și a posibilităților de supraveghere a comportării acestora, modificarea biocenozelor, eutrofizarea apelor;

— colmatarea albiei rîului în amonte de acumulare duce la despletirea firului apei, inundarea zonelor riverane (de obicei agricole), reducerea gabaritului sub poduri;

— colmatarea în aval de baraje și centrale-baraj, produce modificări ale morfologiei biefului, pînzei freatice, volumului și compoziției depozitelor aluvionare, căderii dintre biefuri.

În țara noastră, unele acumulări cu capacitate mică prezintă un înalt grad de colmatare, așa cum rezultă din tabelul 2.

Caracterul complex al fenomenelor de colmatare face ca și metodele de combatere să fie foarte diverse, putînd fi grupate în două categorii mari : metode preventive și metode curative.

O metodă preventivă, aceea de combatere a eroziunii solurilor prin protecția vegetală, este aplicată în țara noastră (care dispune de un program național de amenajare a bazinelor hidrografice, în cadrul căruia o pondere prioritară o dețin lucrările pentru combaterea eroziunii solului).

Metode curative, cum ar fi decolmatarea prin mijloace hidromecanice, s-au aplicat la acumulările Belci, Mintia, Pitești, Dăești.

Experiența în materie de colmatare a lacurilor de acumulare se lărgește pe zi ce trece în întreaga lume, în ideea furnizării proiectantului și personalului de exploatare a unor date destinate prevenirii unor probleme legate de aporturile solide în lacuri. Comitetul privind colmatarea lacurilor de pe lîngă Comisia Internațională a Marilor Baraje a elaborat, în anul 1987, „*Recomandări privind colmatarea lacurilor*". În țara noastră problema pierderii capacității de stocare a apei din unele lacuri este în atenția specialiștilor.

În ultimul deceniu, numeroși specialiști din diverse instituții și întreprinderi din țara noastră s-au preocupat de interacțiunea lac de acumulare — mediu ambiant. S-au întreprins numeroase studii privind calitatea apei din mai multe lacuri de acumulare, realizîndu-se și o clasificare din punct de vedere trofic a acestor lacuri. Deprecieri ale calității apei au fost semnalate în unele lacuri (Vîlcele, Bascov ș.a.) datorate înfloririi cu anumite tipuri de alge sau ca urmare a evacuării în lacuri a unor ape uzate, insuficient epurate. Au fost ridicate problemele gospodăririi pădurilor din bazinele de recepție ale lacurilor de acumulare. Rolul lacurilor de acumulare în acțiunile de sistematizare teritorială a fost studiat sub aspectul

atracției prezentate pentru turism-sport și agrement. Cercetătorii de la stațiunea „Stejarul" au prezentat, într-un volum amplu, abordări originale, cu incursiuni multiple în discipline adiacente, ale problemei interdependenței baraj-lac de acumulare-relief. În general, însă, aceste studii nu au fost corelate, fiecare elaborator lucrînd ca specialist în domeniul său.

Cea de a III-a Conferință de ecologie, ținută la Arad în iunie 1987 (la care a participat și ISPH), a avut o tematică lărgită față de conferințele anterioare și a realizat o abordare interdisciplinară a problemelor legate de impactul amenajărilor hidro asupra zonei în care sînt amplasate. Din discuțiile purtate a rezultat necesitatea gospodăririi raționale unitare a lacurilor de acumulare, a opririi deversărilor de ape reziduale în acestea, a evitării colmatării rapide a cuvetelor, amenajării malurilor și zonelor adiacente, necesitatea elaborării unui sistem unitar de folosințe. S-a subliniat faptul că, față de ritmul realizării de acumulări prin bararea cursurilor de apă din țara noastră, o strînsă cooperare între specialiștii de diverse discipline este tot mai necesară în vederea modelării, încă din faza de proiect, a viitorului lac. Trebuie să se cristalizeze o concepție ecologică unitară, care să ducă la stabilirea de măsuri și sarcini precise ale organelor de resort și care să facă posibilă o urmărire pe termen lung a evoluției lacurilor de acumulare sub toate aspectele. S-a propus și accentuarea în ecoli, în învățămîntul superior, a educației ecologice, formarea unei gîndiri ecologice a tinerelor cadre, astfel încît soluțiile studiate pentru orice amenajare hidro să fie favorabile, în egală măsură, economiei și naturii.

Recent s-a pus problema dacă „environmentaliștii" vor opri un proiect de amenajare hidro cu un impact defavorabil, chiar dacă nevoia de energie în zona respectivă este stringentă. Va fi oare posibil ca, din considerente ecologice și de impact asupra mediului ambiant, să se renunțe la un proiect hidro, obligînd țara respectivă la folosirea energiei nucleare, mărirea folosirii resurselor termo, la importul de energie? Răspunsul este că precauțiile „environmentale", posibile, fezabile și evaluate din faza de studiu a proiectului, fac să se evite cheltuielile mari de mai tîrziu, pentru remedierea unor eventuale efecte negative.

Evoluția constantă a civilizației noastre cere ca și construcțiile pe care le ridicăm azi să fie pentru societatea de mîine, cere formarea unei atitudini și a unei gîndiri inginerești complexe, capabilă să creeze o nouă ambianță construită care, în final, să ducă la îmbunătățirea calității vieții omului.

Bibliografie

[1] Gomboșiu, L., Turcanu, D. *Considerații privind colmatarea lacurilor de acumulare și efecte asupra folosințelor acestora.* Simpozionul „Comportarea in situ a construcțiilor", Arad, 1988.

[2] * * * *Lacuri de baraj, ambianță naturală și construită. Lucrările mesei rotunde din iunie 1980.* Academia R.S.R. filiala Cluj-Napoca, 1981.

[3] * * * Ziridava XVII. *Cunoașterea și valorificarea optimă a resurselor naturale.* A III-a Conferință de ecologie Arad, iunie 1987.

(Primit la 22 iulie 1989, acceptat la 3 august 1989)

Metode și tehnologii noi în activitatea de studii și cercetări pentru construcții energetice

Ing. NICOLAE IORGULESCU, ing. CONSTANTIN OPREA, dr. chim. SABIN BUDU*

Descriptori: construcții energetice, tehnologii noi

În articol sînt cuprinse unele tehnici și metode noi folosite în investigarea geologică, geotehnică a terenului de fundare pentru amenajări hidroenergetice și centrale nuclearoelectrice. Din activitatea ISPH sînt prezentate și aspecte legate de modelarea fizică în laborator sau modelarea numerică pe calculator a unor probleme legate de hidraulica albiilor sau a construcțiilor hidrotehnice.

The paper presents new techniques and methods of geological and geotechnical investigation of the foundation grounds for hydropower settlements and nuclear power plants. Some aspects of the activity carried out with the Hydropower Studies and Design Institute — ISPH connected to the physical modelling at a laboratory level or numerical computer assisted modelling of some problems connected to bed hydraulics or to hydrotechnical constructions are presented.

Introducere

Programul energetic național prevede, în etapa actuală și în perspectivă, realizarea unor importante obiective. Pentru proiectarea, executarea și exploatarea centralelor nuclearoelectrice, a hidrocentralelor și a centralelor termoelectrice, pentru stațiile de transformare și magistralele liniilor electrice de pe tot cuprinsul țării sau în cadrul activității de export sînt necesare ample studii geologice-geotehnice, geofizice, topografice, hidrologice și hidraulice desfășurate pe teren sau în laborator, pe modele fizice sau numerice.

Institutul de Studii și Proiectări Hidroenergetice, responsabil pentru executarea acestor

* Ing. Nicolae Iorgulescu, ing. Constantin Oprea, dr. chim. Sabin Budu — Institutul de Studii și Proiectări Hidroenergetice, București

studii, și-a perfecționat continuu activitatea în vederea creșterii eficienței și calității studiilor, pentru a pune la dispoziția proiectanților date de bază care să asigure funcționalitatea și economicitatea obiectivelor energetice.

Față de perioada realizării primelor obiective energetice din țară, dintre care amintim termocentralele de la Doicești, Paroșeni sau amenajările hidroenergetice de la Bicaz, în activitățile de studii și cercetări au apărut condiții noi, în principal legate de :

— creșterea numărului obiectivelor energetice proiectate și realizate cu scurtarea continuă a timpului alocat pentru studii ;

— amplasarea unor obiective în condiții naturale topografice, hidrologice sau geologice din ce în ce mai dificile ;

— progresul rapid al cercetărilor pe plan mondial în domeniile și disciplinele tehnice respective ;

— necesitatea realizării unor obiective importante cu cerințe tehnice deosebite, cum ar fi : amenajările complexe de pe Dunăre studiate în colaborare cu specialiștii țărilor riverane, lucrări executate în străinătate pentru obiective energetice, sau studiile pentru programul național de folosire a energiei nucleare.

În cadrul acestui articol vor fi prezentate doar cîteva aspecte legate de unele metode și tehnologii noi de studii, care constituie preocuparea unor colective mai largi de specialiști.

1. Tehnici și metode noi pentru studii geotehnice de teren

În cadrul studiilor geologice-tehnice de teren pentru investigarea condițiilor de fundare a obiectivelor energetice se urmărește obținerea a cît mai multe informații asupra geologiei amplasamentului și a caracteristicilor fizico-mecanice ale rocilor ce alcătuiesc terenul de fundare.

Este pe larg utilizată tehnica combinării investigațiilor geologice direct în teren cu metode indirecte, cum sînt în special metodele geofizice și corelarea cu rezultatele investigațiilor geotehnice realizate în etapele inițiale de studiu, pe parcursul execuției, sau din urmărirea comportării construcțiilor în exploatare.

Datorită caracteristicilor specifice construcțiilor energetice : suprafețe mari de fundare, presiuni importante transmise la teren și modificarea regimului apei din terenul de fundare, în I.S.P.H. s-au impus studiile geotehnice realizate pe teren („in situ"). Se pot astfel modela zone mai mari decît pe probe de laborator ale masivului de roci din terenul de fundare, se pot realiza încărcări mai mari, apropiate de cele date de construcția reală.

În afara încercărilor cunoscute de compresibilități cu plăci de dimensiuni mari (50—200 cm), de forfecare pe blocuri cu latura între 40—80 cm, de compresibilitate triaxială pe blocuri mari, sau rezistență la penetrare în terenul de fundare, s-au perfecționat și se aplică tot mai mult două noi metode :

— încercarea presiometrică în găuri de foraj ;

— investigarea caracteristicilor de propagare a undelor elastice în masa rocii.

Încercarea presiometrică constă în presarea (umflarea) pe pereții forajului a unei sonde cilindrice ce se introduce în gaura forată la diferite adîncimi, cu măsurarea variației volumului sondei la diferite presiuni. In I.S.P.H. s-au realizat prin autodotare presiometre ce realizează presiuni maxime de 40 bari și 80 bari și cu care s-au realizat investigații pînă la adîncimi de 75 m de la suprafața terenului. Înregistrîndu-se curba presiometrică a variației volumului (deformației) cu presiunea se pot defini următoarele caracteristici :

— domeniul cvasiliniar al curbei presiometrice și modulul presiometric ;

— presiunea de fluaj (p_f), limita superioară a fazei pseudo-elastice ;

— presiunea limită (p_l), rezistența masivului la împingere laterală cilindrică.

Un exemplu de utilizare a acestei încercări de investigare a terenului de fundare este prezentat în figura 1.

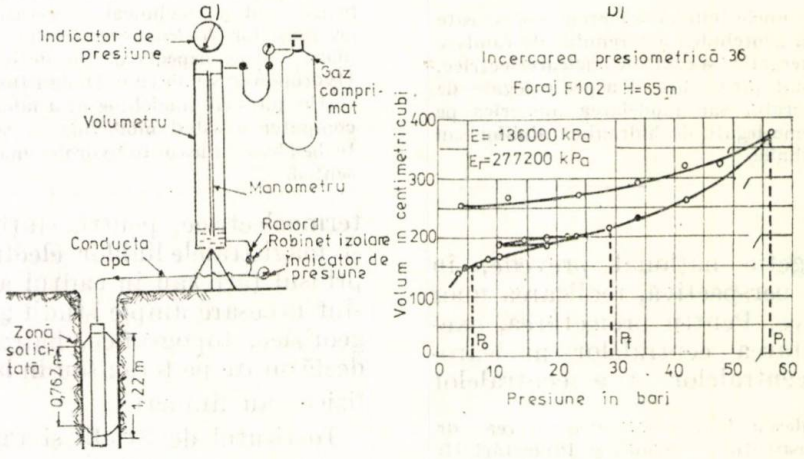


Fig. 1. Schema încercărilor presiometrice (a) și prezentarea rezultatelor (b).

Zone largi din masivele de pămînturi sau roci pot fi investigate folosind metode geofizice. Din măsurători seismice pot fi deduse vitezele de propagare în masiv a undelor longitudinale (V_p) și transversale (V_s). Pe baza relațiilor din teoria elasticității se evaluează caracteristicile de deformabilitate ale terenului la solicitări dinamice de mică amplitudine: E_{din}, G_{din}, ν_{din}. Metodele seismice de investigare în teren folosite din ce în ce mai mult în studiile I.S.P.H. sînt schițate în figura 2, împreună cu posibilitățile de combinare a două metode (microseismocarotaj-MSC și „cross-hole").

2. Modernizarea aparaturii pentru studii geotehnice în laborator

Dacă încercările „in situ" au avantajul principal al posibilității de investigare a unor zone largi din masiv, ele necesită uneori timp mai mare pentru aplicare, pecum și cheltuieli importante. Mult mai expeditive și mai complete sînt investigațiile de laborator pe probe recoltate din foraje (pe cît posibil probe netulburate), din monoliți și pe probe preparate în condiții stabilite de cercetător. Investigațiile de laborator oferă date mai multe pentru o

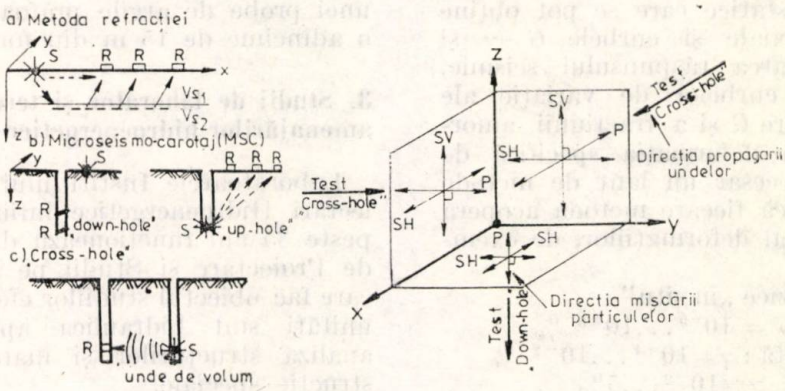


Fig. 2. Posibilități de investigații seismice în teren.

Rezultatele măsurătorilor geofizice sînt folosite pentru: determinarea stratificației geologice (limite de strat), a accidentelor tectonice (falii), a golurilor subterane (carsturi, conducte, etc.), dar și a caracteristicilor de deformabilitate menționate mai sus. Aceste caracteristici de deformabilitate au la rîndul lor o dublă utilizare: la analiza dinamică a interacțiunii dintre straturi și terenul de fundare ca parametrii geotehnici de intrare, dar și la definirea solicitărilor seismice de calcul sub forma accelerogramelor sau spectrelor de răspuns al mișcării seismice la suprafața terenului.

Legat de supravegherea seismică, menționăm faptul că I.S.P.H. are la această dată o rețea modernă de stații seismice la toate barajele și centralele hidroelectrice importante (Argeș, Bicaz, Porțile de Fier, Drăgan, Lotru etc.) ale căror înregistrări servesc atît pentru urmărirea în exploatare, cît și pentru obținerea de date și informații pentru seismicitatea zonei. S-a ajuns astăzi ca în amplasamentul unor viitoare baraje (cazul amenajării Surduc — Buzău) să fie instalate stații seismice încă din fazele inițiale de studii, stații la care s-au înregistrat mișcări seismice reale, ale căror prelucrări au oferit informații prețioase pentru definirea solicitărilor seismice de calcul al rezistenței viitoarelor construcții.

analiză statistică a tendințelor de variație a parametrilor și ceea ce este foarte important este faptul că în laborator se urmărește atît reconstituirea stării de eforturi din teren, cît și simularea secvențelor de încărcări pe care terenul le va suporta în viitor de la construcția ce se va realiza.

În acest sens, pe lîngă dotarea I.S.P.H. și perfecționarea aparaturii obișnuite (edometre, aparate de forfecare pe plan obligat, prese pentru compresibilități monoaxiale etc.) s-a depus un remarcabil efort pentru testarea, brevetarea și realizarea prin autodotare a unor instalații originale de compresiune triaxială cu încărcare hidraulică controlată. În mod normal dimensiunile probelor folosite la determinări de compresiune triaxială sînt de $D = 38$ mm și $H = 80$ mm. În ISPH s-au confecționat celule triaxiale și se execută frecvent determinări pe probe cu $D = 100$ mm sau $D = 250$ mm și $H = 2-2{,}50 \times D$, în special pentru materiale granulare grosiere, la care încercarea pe probă cu diametrul de 38 mm nu poate fi realizată.

Pentru barajele din materiale locale (balast, anrocamente) au fost perfecționate în ultimul timp dispozitivele necesare încercărilor de compresibilitate în edometru mare (probă $D = 400$ mm, $H = 250$ mm), precum și mo-

dernizarea aparatelor de forfecare cu casete mari (dimensiuni probă $210\times210\times120$ cm cu granula maximă posibilă = 30 cm și cu presiuni verticale pînă la 14 daN/cm^2).

Dezvoltarea rapidă a tehnicilor și programelor de calcul pentru construcțiile energetice importante a impus ca studiile și cercetările să nu ofere numai valori deterministe ale unor parametri geotehnici ca date de intrare în calcule. Se solicită din ce în ce mai mult curba de variație a anumitor caracteristici (eforturi-deformații, moduli-presiuni, moduli-deformații, amortizări-deformații etc.).

Exemple concludente sînt curbele hiperbolice de modelare a comportării neliniare a pămînturilor la solicitări statice care se pot obține din încercările triaxiale și curbele $G-\gamma$ și $D-\gamma$ pentru evaluarea răspunsului seismic.

Pentru definirea curbelor de variație ale modulului de forfecare G și a fracțiunii amortizării critice D cu deformația specifică de forfecare (γ) este necesar un lanț de metode de încercare, știind că fiecare metodă acoperă un domeniu limitat al deformațiilor, de exemplu :

— încercările geofizice „in situ" :
$$\gamma = 10^{-5}\ldots10^{-3}\ \%$$
— coloana rezonantă : $\gamma=10^{-4}\ldots10^{-2}$ %
— triaxialul ciclic : $\gamma=10^{-2}\ldots5\%$

Considerînd faptul că în general cutremurele produc în teren deformații de ordinul $\gamma = 10^{-3}\ldots3\times10^{-1}$ %(cele mai puternice în intervalul $3\times10^{-2}\ldots3\times10^{-1}$ %) este evident că pentru materialele din teren ce au o comportare neliniară nu se poate aplica numai una sau alta din metode.

În I.S.P.H. există de circa un an în exploatare un aparat tip coloană rezonantă Drnevich, achiziționat în cadrul unui program ONU-PNUD, care completează încercările „in situ" prezentate anterior. S-a realizat prin autodotare și un dispozitiv de solicitare triaxială ciclică, după o concepție originală, care nu a fost omologat încă.

În coloana rezonantă, o probă de pămînt (argilă, nisip) în formă de cilindru cu diametrul de 35,7 mm și $H = 71{,}1$ mm are baza inferioară fixată, iar capătul superior este acționat de un vibrator torsional. Proba poate fi solicitată la o compresibilitate izotropă (maximum 7 daN/cm^2), dată de presiunea din celulă peste care se suprapun excitațiile sinusoidale cu frecvență variabilă, pînă se obține rezonanța sistemului probă-vibrator evidențiată pe un osciloscop. Determinîndu-se experimental frecvența de rezonanță, accelerația mișcării torsionale și cunoscînd caracteristicile probei și aparatelor se determină, pentru un anumit nivel de deformație, modulul de forfecare G și factorul de amortizare D.

O schematizare a condițiilor de eforturi în coloana rezonantă este prezentată în figura 3, împreună cu rezultatele obținute la încercarea unei probe de argile prăfoase prelevate de la o adîncime de 15 m din foraj.

3. Studii de laborator și teren pentru lucrările amenajărilor hidroenergetice

Laboratoarele Institutului de Studii și Proiectări Hidroenergetice înființate în urmă cu peste 35 ani funcționează din 1976 ca Atelier de Proiectare și Studii pe Modele. Domeniile care fac obiectul studiilor efectuate în aceste unități sînt hidraulica aplicată, hidrologia, analiza structurilor și materialelor de construcție speciale.

Studiile de hidraulică aplicată urmăresc, prin modelare fizică și matematică, punerea în evidență a comportării în exploatare sau obținerea unor parametri funcționali ai construcțiilor componente ale amenajărilor hidroenergetice ca : descărcătoare de ape mari, disipatoare de energie, prize de apă de adîncime sau cu nivel liber, castele de echilibru, descărcătoare de siguranță la centrale de joasă cădere în cascadă, ecluze navigabile, precum și o serie de fenomene legate de fazele de execuție și modificările albiei rîului după punerea în funcțiune a nodurilor hidrotehnice. Metodologia de încercare pe model fizic a rămas în general tributară nivelului de acum 20 de ani, adică folosirii unor tehnici deja considerate clasice. În urmă cu 25—30 ani, s-a introdus aparatura electronică pentru măsurarea și înregistrarea mărimilor neelectrice obținute pe modele hi-

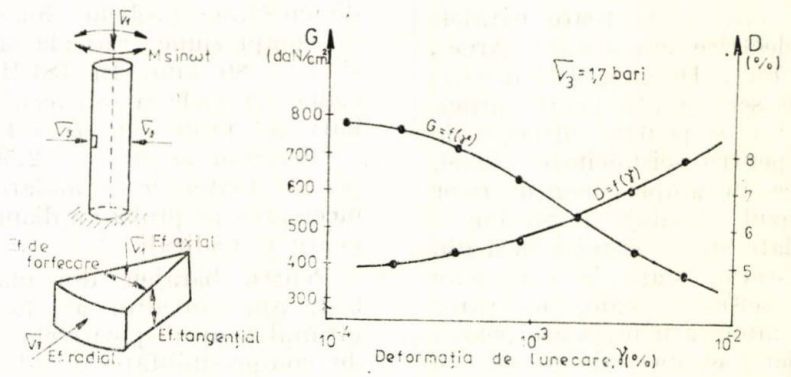


Fig. 3. Condiții de eforturi și rezultatele obținute în coloana rezonantă.

draulice. Pe măsura utilizării calculului. automat, prelucrarea acestor date se face cu programe specializate. În acest proces omul de laborator intervine în lanțul de măsură—prelucrare date prin digitizare și introducerea datelor în calculator, ceea ce, deși mărește precizia interpretării datelor și a nivelului concluziilor, duce la lungirea timpului de studiu. În ultimul timp se urmărește introducerea metodei de prelucrare a datelor în timp real cu ajutorul microcalculatorului cuplat la lanțul de măsură (fig. 4), schemă în care prelucrarea se face concomitent cu experimentarea pe model fizic, scurtînd durata studiului cu 8—14 zile, iar nivelul de stocare a datelor, de prelucrare și interpretare a lor este superior procedeelor anterioare.

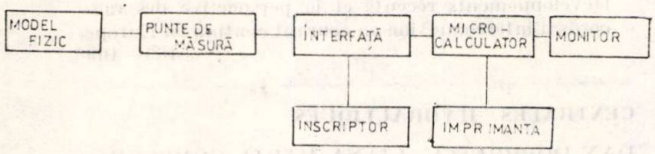


Fig. 4. Lanțul de măsură pentru prelucrarea în timp real

Prin încercarea pe model hidraulic a unui număr mare de uvraje s-a ajuns la soluții eficiente și sigure, cu volume reduse de lucrări, uneori tipizate la amenajările cu mai multe trepte, cum ar fi disipatcare de energie în două trepte, consolidări aval de barajele de joasă cădere, alimentare distribuită la ecluze, descărcătoare de siguranță la centrale cu evacuare și disipare pe parametrul aval al digului sau în camere de disipare sub presiune, sisteme de spălare la prize cu nivel liber, sisteme de aerare la vane de cădere medie și mare etc.

După darea în funcțiune a unor amenajări pe rîurile Bistrița, Argeș, Olt și Dunăre (Porțile de Fier I) sfera preocupărilor laboratorului de hidraulică s-a extins mult la măsurători în natură. Avînd o dotare minimă în aparatură, completată cu traductoare adecvate măsurătorilor în teren și dispozitive executate în atelierele proprii, studiile în natură au abordat probleme legate de verificarea capacității de debit a aducțiunilor sub presiune și galeriilor de fugă ale centralelor hidroelectrice, comportarea consolidărilor aval de barajele stăvilar, modificările morfologice ale biefurilor amenajărilor, colmatarea lacurilor și a camerelor prizelor cu nivel liber etc. Studierea acestor aspecte ale exploatării uvrajelor aduce, pe lîngă rezolvarea unor situații particulare, și un plus de experiență în proiectarea ulterioară a unor construcții similare.

Programele de studii în natură sînt completate cu măsurarea solicitărilor statice și dinamice ale construcțiilor hidroenergetice, în special vibrații produse de hidroagregate în mișcare la diverse trepte de putere, ceea ce duce la cunoașterea manevrelor periculoase. Serii de măsurători de vibrații repetate la intervale de 2—3 ani au fost efectuate la SHEN Porțile de Fier I și II, centralele cascadei de pe rîul Olt, CH Tarnița, CH Mărișelu, CH Brădișor, Stația de pompare Jidoaia, CH Herculane. La unele hidroagregate s-a pus în evidență prin apariția cavitației utilizînd o metodă brevetată prin I.S.P.H., respectiv „metoda vibro-acustică", care stabilește mai ușor decît alte metode stadiul cavitației, condițiile în care se dezvoltă ea și măsurile care să prelungească durata de exploatare a agregatelor.

Tot o activitate de teren combinată cu prelucrarea în birou a datelor este hidrologia, element determinant în cunoașterea debitelor de apă necesare stabilirii parametrilor funcționali ai centralei hidroelectrice sau captării de apă pentru alte folosințe. Activitatea primară hidrometrică s-a extins la o serie de stațiuni care nu sînt exploatate de IMH, dar mai ales pentru fluviul Dunărea, pentru stabilirea în comun de către cei trei riverani ai debitelor și nivelurilor în regim natural pe sectorul aval de Porțile de Fier II.

La execuția lucrărilor hidroenergetice se utilizează curent materiale de protecție și etanșare care fac obiectul studiilor și încercărilor de laborator și al unor experimente de tehnologii pe șantier.

Tehnologiile experimentate pe șantier sînt realizate pentru materiale noi de etanșare la baraje și diguri din materiale locale sau pentru repararea unor defecțiuni de execuție. La barajul Colibița s-a realizat, pe baza unui program de studii de laborator, pentru prima dată o mască din dale subțiri de beton armat etanșate cu folie PVC. Realizată din mai multe straturi care protejează folia, etanșarea se așază pe un strat de mortar de egalizare turnat pe anrocamente. Protecția suprafețelor de beton, supuse acțiunii moderate a apei și altor intemperii s-a realizat cu un sistem peliculogen obținut din produse secundare; sistemul are aplicații la turnurile de răcire ale CET, la betoane hidrotehnice și echipamentele hidromecanice.

Pentru repararea unor defecte de execuție s-au inițiat rețete și tehnologii noi, ca de exemplu, utilizarea curentă la închiderea fisurilor betoanelor hidrotehnice masive, a chitului polisulfidic la fisuri active și a rășinii epoxidice la fisuri stabilizate. În cazul fisurilor mari s-a elaborat o tehnologie de închidere prin procedee mecanice, respectiv cu bandă de cauciuc armat lipită cu chit și prinsă în buloane sau șuruburi împușcate în elementul de beton. Pentru segregări se utilizează două procedee în funcție de volumul segregării și anume torcretarea armată cu plasă de rabiț sau umplere cu mortar de rășini aplicabil cu șpaclul sau beton de rășini cu materiale amorfe.

(Primit la 22 iulie 1989, acceptat la 2 august 1989)

СОДЕРЖАНИЕ

РАЗВИТИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

МИХАЙ ПОП, ЛУЧИАН ЛЕФТЕР: 40-летие энергетического проектирования 433—444

ПАУЛ ЭМИЛ РАШКУ, ДИНУ ВОЙНЯ: Значительные аспекты в эволюции проектной разработки электрических подстанций Румынии 445—457

АНКА ПОПЕСКУ, ГЕОРГЕ МАНОЛЕСКУ, ХЕРМИНА АЛЬБЕРТ, ГЕОРГЕ ВЭЛЧЕРЯНУ, ЭМИЛ КОСТИН, МИХАЙ СЭНДУЛЕСКУ: Актуальные работы по проектированию развития национальной энергетической системы 457—463

ЛИВИУ ГРОЗА, ФЛОРЕНТИНА МИХЭИЛЕСКУ: Актуальная эволюция и перспектива межсистемных связей в постоянном токе, в Европе 463—469

ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

ДАН ДОБРЕСКУ, ЛИАНА МАРИА ГОМБОШИУ: Влияние гидроэнергетических и гидротехнических сооружений на окружающую среду 470—475

НИКОЛАЕ ЙОРГУЛЕСКУ, КОНСТАНТИН ОПРЯ, САБИН БУДУ: Новые методы и технологии в исследовательской деятельности для энергетических конструкций 475—479

INHALT

DIE ENTWICKLUNG DER ENERGIESYSTEME

MIHAI POP, LUCIAN LEFTER : 40 Jahre Projektierungstätigkeit in der Energiewirtschaft 433—444

PAUL EMIL RAȘCU, DINU VOINEA : Bedeutungsvolle Aspekte in der Entwicklung der Projektierungskonzeption der Umspannanlagen aus Rumänien 445—457

ANCA POPESCU, GEORGE MANOLESCU, HERMINA ALBERT, GHEORGHE VÂLCEREANU, EMIL COSTIN, MIHAI SĂNDULESCU : Gegenwärtige Fragen in der Projektierung und Entwicklung des Verbundnetzes 457—463

LIVIU GROZA, FLORENTINA MIHĂILESCU : Neuliche Fortschritte und Ausblick zum Thema Gleichstromverbundschaltungen in Europa 463—469

WASSERKRAFTWERKE

DAN DOBRESCU, LIANA MARIA GOMBOȘIU : Auswirkungen der hydroenergiewirtschaftlichen und hydrotechnischen Bauten auf die Umwelt 470—475

NICOLAE IORGULESCU, CONSTANTIN OPREA, SABIN BUDU : Neue Methoden und Technologien in der Studien-und Forschungstätigkeit für energiewirtschaftliche Bauten 475—479

SOMMAIRE

DÉVELOPPEMENT DES RÉSEAUX D'ÉNERGIE

MIHAI POP, LUCIAN LEFTER : 40 ans de conception en énergétique 433—444

PAUL EMIL RAȘCU, DINU VOINEA : Aspects significatifs concernant l'évolution de la conception des postes électriques de la Roumanie 445—457

ANCA POPESCU, GEORGE MANOLESCU, HERMINA ALBERT, GHEORGHE VÂLCEREANU, EMIL COSTIN, MIHAI SĂNDULESCU : Préoccupations actuelles concernant la conception et le développement du réseau roumain d'énergie 457—463

LIVIU GROZA, FLORENTINA MIHĂILESCU : Développements récents et la perspective des raccords d'interconnexion en courant continu en Europe 463—469

CENTRALES HYDRAULIQUES

DAN DOBBRESCU, LIANA MARIA GOMBOȘIU : L'influence des aménagements hydroélectriques et hydrotechniques sur le milieu environnant 470—475

NICOLAE IORGULESCU, CONSTANTIN OPREA, SABIN BUDU : Méthodes et technologies nouvelles employées dans l'activité d'études et de recherches concernant les constructions énergétiques 475—479

CONTENTS

ENERGY SYSTEMS DEVELOPMENT

MIHAI POP, LUCIAN LEFTER : 40 Years of Design Activity in the Power Field 433—444

PAUL EMIL RAȘCU, DINU VOINEA : Significant Aspects in the Design Concept Progress of Electrical Substations of Romania 445—457

ANCA POPESCU GEORGE MANOLESCU, HERMINA ALBERT, GHEORGHE VÂLCEREANU, EMIL COSTIN, MIHAI SĂNDULESCU : Concerns About the Design of National Power System Development 457—463

LIVIU GROZA, FLORENTINA MIHĂILESCU : Recent Evolutions and Prospecst of the European DC Interconnection 463—469

HYDROPOWER PLANTS

DAN DOBRESCU, LIANA MARIA GOMBOȘIU : Hydropower and Hydrotechnical Constructions Impact on the Environment 470—475

NICOLAE IORGULESCU, CONSTANTIN OPREA, SABIN BUDU : New Methods and Technologies in the Power Construction Studies and Research Activity 475—479

MŰSZAKI INFORMÁCIÓS

COLEGIUL DE REDACȚIE

Președinte, redactor responsabil : **dr. ing. Eugeniu Pavel**
Redactori responsabili adjuncți : **dr. ing. Mihai G. M. Pop, dr. ing. Gheorghe Bălan, ing. Radu Opincaru**
Secretar de redacție : **dr. ing. Teodor Popa**
Gestiunea financiară : **ec. Pompiliu Silvășanu**
Orientări din energetică : **dr. ing. Mario Duma**
Energetica în unități economice : **ing. Ion Măiereanu, ing. Alexandru Floreseu**
Dezvoltarea sistemelor energetice : **dr. ing. Nicolae Armeneoiu, dr. ing. George Manolescu**
Conducerea și automatica SE : **dr. ing. Victor Romert, dr. ing. Jean Constantinescu**
Centrale termoelectrice : **conf. dr. ing. Costin Moțoiu, ing. Romeo Zbarcea**
Centrale hidroelectrice : **dr ing. Gheorghe Luca**
Centrale nuclearoelectrice : **ing. Adrian Georgescu, prof. dr. ing. Nicolae Dănilă, ing. Mircea Tarța**
Rețele electrice : **ing. Dinu Voinea, ing. Nicolae Georgian**
Alimentare cu căldură : **ing Nicolae Nieulescu**
Surse și tehnologii noi : **ing. Constantin Popescu**
Tehnologii chimice în energetică. Poluare : **dr. chim. Maria Maftei**
Organizarea producției și a muncii : **ing. Miron Popescu**
Terminologia energetică : **dr. ing. Iosif Cserveny**
Istoria electrificării : **ing. Paul Cartianu**
Noutăți : **ing. Nistor, ing. Romulus Sfiehi**
Centre universitare și industriale :
București : **conf. dr. ing. Alexandru Selisehi**
Iași : **prof. dr. ing. Alexandru Poeată**
Timișoara : **prof. dr. ing. Viorel Negru**
Cluj-Napoca : **conf. dr. ing. Silviu Darie**

Acest număr a fost realizat cu ajutorul următorilor secretari ai grupelor de specialitate :

— **ing. Anton Vlădescu** — Dezvoltarea sistemului energetic — **dr. hidrol. Gheorghe Popa** — Centrale hidroelectrice

Revista „ENERGETICA" este editată și administrată de Institutul de Cercetări și Modernizări Energetice prin Oficiul de Informare-Documentare pentru Energetică.
Vasile Pleșca — șef OIDE, **Ana Maria Chivu** — redactor

Revista ENERGETICA — publicație lunară, reflectă preocupările spirituale și realizările materiale în domeniul energeticii. Funcționează în conformitate cu *ROF* aprobat cu Ordinul nr. 97/1987, publicat în numărul 4/87 al revistei. Elaboratorii de lucrări propuse pentru publicare sînt rugați să consulte *„Îndrumările pentru întocmirea și prezentarea lucrărilor propuse pentru a fi publicate în revista Energetica"*, *„Ghidul pentru avizarea lucrărilor propuse pentru a fi publicate în revista Energetica"* apărute în numărul 12/86, precum și *„Planul tematic al revistei Energetica pe anii 1988—1990"*, publicat în nr. 5/1987 al revistei.

Instituțiile pot achita abonamentele în contul de virament nr. 30.11.8.01.01 — — BN R.S.R. fil. sector 3 sau direct la redacție. Costul unui abonament : 144 lei anual; costul unui exemplar : 12 lei.

Redacția și administrația revistei : B-dul Energeticienilor, nr. 8, sect. 3, cod 79619, București

41 401

ANNOUNCEMENTS FOR READERS ABROAD

- **The review "Energetica" can send on request from publications abroad reports translated in one of the worldwide spoken languages**
- **The review "Energetica", proposes a publication exchange with similar reviews and in relating fields**
- **The review "Energetica" provides and publishes or introduces books on energy received at the editorial office. Reviews and presentations of books sent on this purpose to the editorial office can be published as well**
- **The review "Energetica" publishes on request from authors abroad reports of energy of other materials : technical and scientific news, inventions-innovations, information about technical and scientific symposia, etc. written in one of the worldwide spoken languages**
- **Readers from abroad can subscribe through : ROMPRESFILATELIA — sectorul import-export, P.O. Box 12—201, telex 10376 prsfir, Calea Griviței nr. 64—66, București — România.**

Tiparul : Întreprinderea Poligrafică „Informația", București, str. Brezoianu 23—25 c. 1539

I.S.P.H.

INSTITUTUL DE STUDII ŞI PROIECTĂRI HIDROENERGETICE

29, Republicii Blvd., 79669 Bucharest,
Romania,
Phone 147270, Telex 11-443 i. s. p. h. r.

ISPH-Designing Institute with complex profile offers :

SPECIAL ACTIVITIES

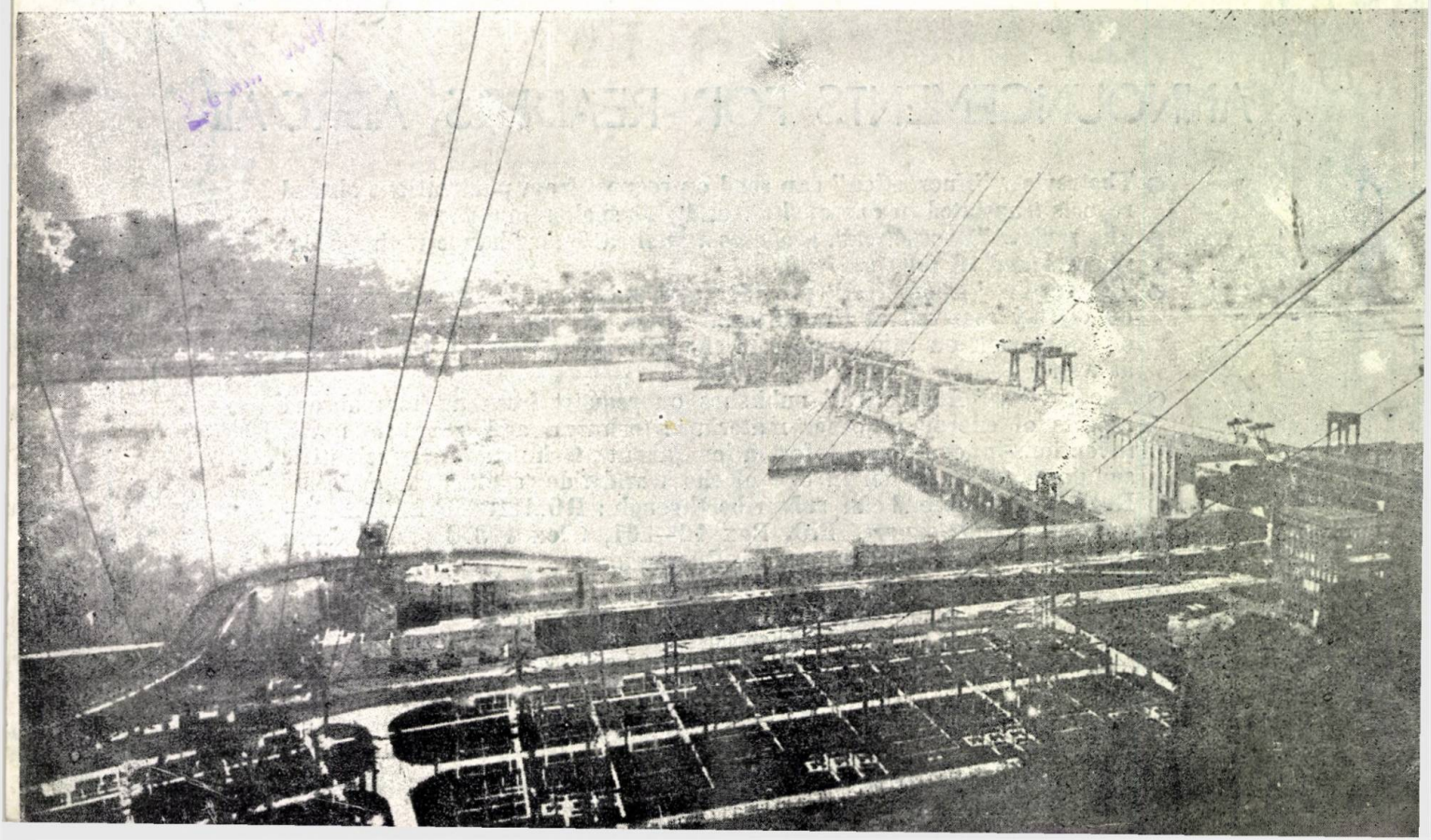
- hydrological and hydrogeological studies
- engineering-geological investigations
- geotechnical and geophysical explorations, soil and rock mechanic investigations
- topographical surveys and mapping

SPECIAL SERVICES

- preliminary studies and designs
- feasibility studies
- final designs
- detailed construction drawings
- tender documents and contracts
- inspection and supervision
- expert's reports

RIVER BASIN DEVELOPMENT STUDIES

- hydroelectric developments
- multipurpose hydraulic developments
- special hydraulic structures



E 2039
ETE
R 1990 -04- 17

MW

11

Cuprins

ENERGETICA ÎN UNITĂȚI ECONOMICE

EUGENIU PAVEL : **Noi aspecte ale teoriei receptoarelor trifazate statice dezechilibrate** *(cu prezentare în limba engleză)* 481—492

CENTRALE TERMOELECTRICE

MIRCEA RĂDULESCU, CRISTIAN TOTOLO, EMIL TRIFA : **Concentratorul de praf în două trepte — soluție eficientă pentru stabilizarea arderii prafului de lignit la cazanul de 400 t/h din CET Oradea I** 493—498

CENTRALE NUCLEAROELECTRICE

TRAIAN MAUNA, ANDRIEȘICA MAUNA : **Considerații asupra poluării mediului acvatic cu deșeuri lichide radioactive deversate din centralele nuclearoelectrice** 499—503

SURSE ȘI TEHNOLOGII NOI

IOAN ANTON, FRANCISC GYULAI, IOSIF PREDA, CORNEL ALBU, LAZĂR BROȘTEAN, EMILIAN SUCIU, IONEL BAGIU : **Cercetări experimentale pe agregatul aeroelectric de laborator de la Institutul Politehnic din Timișoara** 504—508

FRANCISC GYULAI, CEZAR DORIN GALERIU : **Modelarea în tunelul aerodinamic a direi agregatelor de vînt** 508—511

FRANCISC GYULAI, EUGEN DOBÎNDĂ : **Cîteva probleme privind garantarea performanțelor aerodinamice ale turbinelor de vînt** 512—515

ROMULUS SFIGHI, TIBERIU TUGUI : **Predeterminarea probabilistică a producției anuale de energie a unui aerogenerator prin liniarizarea caracteristicii de putere** 516—519

ISTORIA ELECTRIFICĂRII

PAUL CARTIANU : **50 de ani de la adoptarea sistemului internațional de unități de măsură Giorgi** 520-523

NOUTĂȚI

DIN ENERGETICA MONDIALĂ 503

CRONICĂ 524—526

energetica

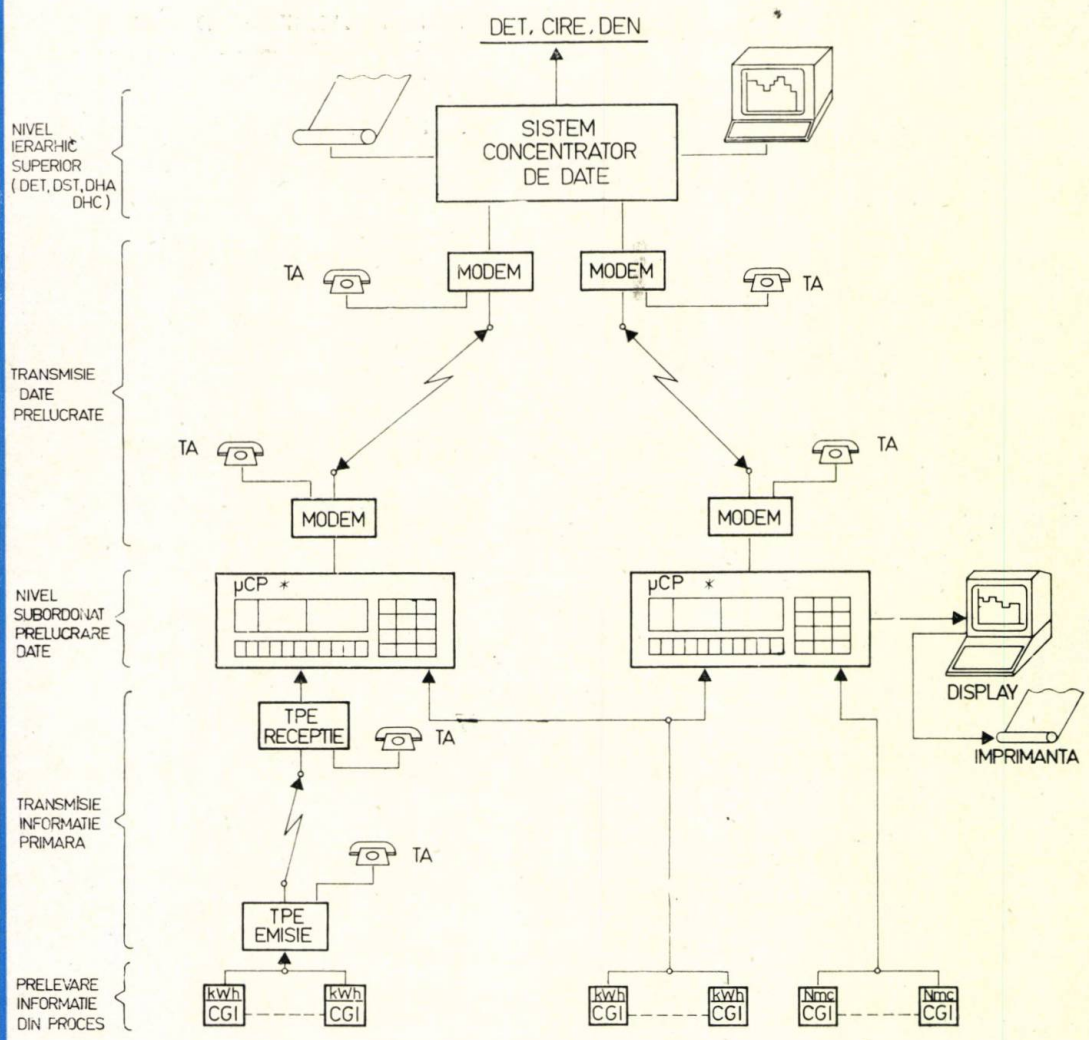
VOLUMUL XXXVII
BUCUREȘTI
NOIEMBRIE 1989

INSTITUTUL DE CERCETĂRI ŞI MODERNIZĂRI ENERGETICE

ICEMENERG

Bd. ENERGETICIENILOR 8 ● SECTORUL III
79619 BUCUREŞTI ● Telefon : 214630 ; 206730
Telex : ICEMENERG 10783 ● CONT: 30.11.8.01.01
BNRSR Filiala Sector III BUCUREŞTI

SISTEM IERARHIZAT CU MICROPROCESOR PENTRU TELEGESTIUNEA IN TIMP REAL A PRODUCTIEI SI CONSUMULUI DE ENERGIE ELECTRICA, TERMICA SI AGENTI ENERGETICI



EFICIENTA TEHNICO ECONOMICA

- TELEURMARIREA SI REDUCEREA CONSUMURILOR PROPRII TEHNOLOGICE SI INCADRAREA IN NORMELE APROBATE PE LANT PRODUCTIE, TRANSPORT - DISTRIBUTIE CONSUM
- REDUCEREA CONSUMURILOR SPECIFICE DE ENERGIE
- CRESTEREA PRODUCTIVITATII MUNCII
- IMBUNATATIREA CONDITIILOR SOCIO-PROFESIONALE ALE PERSONALULUI DE EXPLOATARE

DOMENII DE APLICATIE

- CENTRALE TERMOELECTRICE
- INTREPRINDERI DE RETELE ELECTRICE
- MARI CONSUMATORI INDUSTRIALI

STADIUL DE IMPLEMENTARE

IN FUNCTIUNE
- 8 CENTRALE
- 4 STATII DE DISTRIBUTIE IRE DIMBOVITA
- CONTUR JUDET IRE GALATI
- 80% CONSUM DE ENERGIE JUDET GALATI
- 17 MARI COMSUMATORI INDUSTRIALI

▶ μCP → EGOPEC-30 FEA; ECAROM-TG FEA; DIEN -- ICEMENERG

E2039

1990 APR 2 5

ENERGETICA

ORGAN AL MINISTERULUI ENERGIEI ELECTRICE ŞI AL CONSILIULUI NAŢIONAL AL INGINERILOR ŞI TEHNICIENILOR DIN REPUBLICA SOCIALISTĂ ROMÂNIA

APARE SUB ÎNDRUMAREA CONSILIULUI ŞTIINŢIFIC AL INSTITUTULUI CENTRAL DE CERCETĂRI ENERGETICE

Anul 37 Nr. 11 Noiembrie 1989

Energetica în unităţi economice

Noi aspecte ale teoriei receptoarelor trifazate statice dezechilibrate

Dr. ing. EUGENIU PAVEL *

Descriptori : sisteme trifazate, regimuri nesimetrice, regimuri dezechilibrate

În articol, autorul prezintă cîteva aspecte noi referitoare la bilanţurile de puteri şi energii corespunzătoare componentelor simetrice ale curenţilor şi tensiunilor, în cazul alimentării cu energie electrică a unui receptor trifazat dezechilibrat. Se demonstrează că este posibil ca un sistem trifazat de impedanţe să fie descompus în două părţi : una, formînd un sistem echilibrat, şi alta, formînd un sistem complet dezechilibrat. Partea complet dezechilibrată se comportă ca un pseudoconvertizor de putere şi energie. În general, în această parte a sistemului de impedanţe se primeşte putere simetrică (directă) şi se debitează puteri asimetrice şi anasimetrice (homopolară şi inversă). Puterile asimetrice şi anasimetrice au ca efect creşterea pierderilor în principal în reţelele de alimentare, ale căror sisteme de impedanţe pot fi considerate practic echilibrate. Debitarea puterilor şi respectiv energiilor în reţele depinde de doi factori : de gradul de dezechilibru al sistemului de impedanţe (deci de sursa de putere nesimetrică) şi de impedanţa echivalentă a sistemului electroenergetic (de consumatorul de putere nesimetrică). Dacă puterea de scurtcircuit a sistemului electroenergetic la locul de alimentare a receptorului este foarte mare în raport cu puterea receptorului, debitarea de putere nesimetrică în reţea este neglijabilă.

Măsurarea directă a creşterilor pierderilor în sistem cu ajutorul unor aparate de măsură care să contorizeze direct puterile şi energiile nesimetrice apare mai avantajoasă faţă de alte metode posibile.

Tot în articol, autorul propune precizarea sferelor şi conţinuturilor conceptelor din acest domeniu, dat fiind că nu există o unanimitate de vederi între specialişti.

În anexă se dă un exemplu de calcul, din care, în mai multe variante de alimentare a unui receptor, se prezintă căderile de tensiune şi puterile repartizate pe diferitele părţi ale circuitului, mărimile fiind descompuse în componentele Fortescue. Analiza rezultatelor conduce la unele concluzii privind soluţiile de alimentare a sistemelor de impedanţe dezechilibrate, în cazul cînd există variante pentru aceeaşi putere absorbită.

The author of this paper presents some new aspects referring to power and energy balance corresponding to the symmetrical components of currents and voltages, in the case of unbalanced triphased receiver electricity supply. It is demonstrated that a triphasic impedance system can be divided in two parts : one forming a balanced system and one forming a completely unbalanced system. The completely unbalanced part behaves like a power and energy pseudoconverter. As a rule, this impedances system part receives symmetrical (direct) power and supplies asymmetric and anasymmetric (homopolar and inverse) powers. Asymmetric and anasymmetric powers cause losses increases mainly in those supply grids, whose impedances systems can be considered practically as balanced. Powers and energies supply to the grids depend mainly on two factors : the impedances system unbalance degree (i.e. non-symmetrical power source) and on the equivalent power system impedance (i.e. non-symmetrical power user). If the power grid shortcircuit power has very high values on the user supply location, as compared to the receiver power, the non-symmetrical power injection into the grid is neglectable.

Direct system losses increase measurement by devices for the direct non-symmetrical powers and energies metering is a more advantageous method as compared to other possible methods.

In this paper, the author proposes a concepts' contents clarification in this domain since expert opinion view is not unanimous on this matter.

The Appendix is a calculation example from which voltage and power losses attributed to several circuits parts, quantities being decomposed into Fortescue components, are presented for several supply variants of a receiver. Results analysis leads to unbalanced impedances systems supply solutions conclusions, for the case that there exist variants for the same absorbed power.

* Dr. ing. Eugeniu Pavel — Institutul Central de Cercetări Energetice, Bucureşti.

New Aspects of the Static Unbalanced Triphasic Receivers Theory

(Condensed from the paper in Romanian)

The paper presents an extension of static unbalanced triphasic receivers theory from supply grid point of view which can be with or without zero conductor.

Admitting the conditions — which satisfactorily approximate the grids' real conditions — that electromotor generators voltages are symmetrical, that their own impedances are neglectable, that supply grids impedances are balanced, the relation (3) is reached where :

$$\delta = 3Z_N/Z_E$$

$$\begin{vmatrix} Z_E \\ Z_{Dd} \\ Z_{Di} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{vmatrix} \begin{vmatrix} Z_R \\ Z_S \\ Z_T \end{vmatrix}$$

The equivalent circuit scheme corresponds to equation (12) where the significance for β is given through relations (10) and (11), while $k_d = Z_{Dd}/Z_E$, $k_i = Z_{Di}/Z_E$.

Table 1 presents voltage drops on different circuit parts, while Table 2 presents power consumption in the same area. It was noted :

— area (*i*) — supply grid balanced impedance circuit ;
— area (*ii*) — circuit with balanced receiver part ;
— area (*iii*) — circuit with unbalanced receiver part ;
— area (*iv*) — circuit corresponding to zero conductor.

Tables 1 and 2 state the affirmation that area (*iii*) — receiver unbalanced part — behaves like a pseudoconvertor.

From the power balance relations there result the unequalities (24), (25), (26) and (28), which represent existence conditions of triphasic unbalanced receivers. By means of a numerical example, a comparison is set up between four scheme variants which have as a common part, the receiver absorbed power and the supply grid characteristics. These conditions are expressed by relations (29) and (30). Expression (35) resulted for β' by which the characteristics of different schemes variants can be calculated. Appendices present calculations and results from which one can deduce that in the given conditions, for an unbalanced receiver $k_d = 0.5$ and $k_i = -0.6$, the losses increase as compared to the balanced regime, are the following :

- 183% in the neuter conductor grids with $\delta = 2$; from which about 65% are losses within phase conductors and 118% within neuter conductor ;
- 63% are grids with neuter conductor with neglectable impedance ;
- 33% in isolated neuter grids.

Voltage unsymmetries applied to receiver terminals are of the order $k_{U_h} = 3.46\%$, $k_{U_i} = 4.64\%$, for the first case, $k_{U_h} = k_{U_i} = 8.4\%$ for the second one and $k_{U_h} = 0\%$, $k_{U_i} = 8\%$ for the third case.

It can be deduced, that from the schemes with unbalanced diagrams, supply from grids without neuter conductor is more favourable, although the voltages unbalance is more accentuated.

The paper uses several concepts which are generally not accepted. Sometimes, confusions between the used terms can occur [8], [9]. In this sense, a delimitation of concepts and denominations is proposed, reminding that it is necessary that the quantities used in the field of electricity should be distinctly divided into three classes :

— harmonic quantities (sinusoidal in time) representable by means of phasors to which the symmetrical components method is integrally applied and to which there can be associated without difficulties the terms resulted from the word-family *symmetry*, as e.g. : symmetrical direct component or symmetrical component, inverse symmetric component or anasymmetric component, symmetrical homopolar component or asymmetric component ;

— quantities resulted from the ratios of two harmonic quantities (as impedances and admittances) which can be represented by affixes in a complex plane. For these ones, the terms from the family *balancing* are proposed to be used. Thus, instead of the old term *homopolar calculation component* the term *balanced component* should be used. For the other *calculation* components, the terms *unbalanced component*, with *ad dextram* or *ad laevam* symmetry should be used. The proposal is justified in the paper by the fact that only the balanced part of the impedances cause homonimous voltage decreases to those of the currents passed on. The unbalanced impedances system part causes unsymmetries of the voltages versus currents passed over. On the other hand, the decomposition is real and based on the principle of effects superposition ; as a result, the term "calculation components" is not justified. The real impedances can be decomposed in a balanced and in an unbalanced part :

$$\begin{vmatrix} Z_R \\ Z_S \\ Z_T \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} Z_E \\ Z_E \\ Z_E \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} Z_{D_R} \\ Z_{D_S} \\ Z_{D_T} \end{vmatrix} \qquad (36)$$

Expressions of quantities Z_{D_R}, Z_{D_S}, Z_{D_T} which represent the unbalanced impedances part are given by relation (37) of the paper :

— quantities resulted from products of two harmonic quantities as is the case of powers and which are representable by affixes in a complex plane, too. In this case, considering the powers theorem in symmetric components, the following expressions are proposed : power corresponding to asymmetrical (homopolar), symmetrical (direct) and anasymmetrical (inverse) components.

Of course, the above propositions need to be subject to wider discussions, decisions taken one way or the other and approved by a competent supervisor.

* * *

Conclusively :

— representative affixes of a static triphasic receiver impedance must be situated in the quadrants I or IV of the complex plane. The unbalanced impedances part is the location of energy transfers ;

— receivers supplied from grids without zero conductor, affect less the grids technological consumption. For the case in which $k_d = 0$, the receiver behaves as if balanced, disregarding the value of factor k_i ;

— for the case Z_E is neglectable, the neuter voltage increases strongly, producing a "resonance" of symmetric components ; the phenomenon occurs in grids without neuter conductor ;

— direct measurement of grid energy losses increases by metering asymmetric and anasymmetric energies seems to be advantageous as compared to other methods. In zero conductor deprived schemes voltages and currents filtering for obtaining symmetric components is performed only by two devices (measuring U_{RS}, U_{TS} and currents I_R and I_T), sufficient for obtaining all symmetric components. One knows that in this case $S_h = 0$.

* * *

It is necessary to extend the study for rotative receivers as well, where impedances behave differently as is well-known.

NOTAȚII ȘI TERMENI FOLOSIȚI

Tensiuni și curenți:
— indici ai componentelor Fortescue
h sau 0 — homopolar sau asimetric
d sau 1 — direct sau simetric
i sau 2 — invers sau anasimetric
— denumiri:

componentă Fortescue = componentă simetrică
componentă simetrică = componentă simetrică directă
componentă asimetrică = componentă simetrică homopolară
componentă anasimetrică = componentă simetrică inversă

Impedanțe și admitanțe:
— indici
E — echilibrat
D — dezechilibrat
Dd — dezechilibrat cu simetrie geometrică „ad dextram"
Di — dezechilibrat cu simetrie geometrică „ad laevam"

în care:
E reprezintă tensiunile electromotoare ale generatorului;
Z — impedanțele ansamblului generator rețea receptor *, exclusiv impedanța conductorului de nul care a fost notat, cum s-a arătat mai sus, cu Z_N;
I — curenții.

2. Notînd raportul dintre impedanța conductorului de nul și partea echilibrată a impedanțelor cu:

$$\frac{3Z_N}{Z_E} = \delta$$

și inversînd matricea impedanțelor, deducem expresiile curenților:

$$\begin{vmatrix} I_h \\ I_d \\ I_i \end{vmatrix} = \frac{1}{A} \begin{vmatrix} Z_E^2 - Z_{Dd}Z_{Di} & Z_{Dd}^2 - Z_E Z_{Di} & Z_{Di}^2 - Z_E Z_{Dd} \\ Z_{Di}^2 - Z_E Z_{Dd} & Z_E^2(1+\delta) - Z_{Dd}Z_{Di} & Z_{Dd}^2 - Z_E Z_{Di}(1+\delta) \\ Z_{Dd}^2 - Z_E Z_{Di} & Z_{Di}^2 - Z_E Z_{Dd}(1+\delta) & Z_E^2(1+\delta) - Z_{Dd}Z_{Di} \end{vmatrix} \begin{vmatrix} E_h \\ E_d \\ E_i \end{vmatrix} \qquad (2)$$

$$A = Z_E^3 + Z_{Dd}^3 + Z_{Di}^3 - 3Z_E Z_{Dd} Z_{Di} + \delta(Z_E^3 - Z_E Z_{Dd} Z_{Di})$$

— denumiri:
componentă echilibrată
componentă dezechilibrată
etc.

Puteri:
S_h — putere corespunzătoare componentelor homopolare sau componentelor asimetrice
S_d — putere corespunzătoare componentelor simetrice directe sau componentelor simetrice
S_i — putere corespunzătoare componentelor simetrice inverse sau componentelor anasimetrice.

1. Într-una din lucrările anterioare [1] a fost examinat un caz particular de receptor trifazat static, dezechilibrat, legat la un sistem trifazat avînd conductor neutru cu impedanță nulă. În lucrarea de față se prezintă o generalizare a analizei receptoarelor dezechilibrate, în scopul urmăririi comportării acestora în diferite cazuri de configurație a rețelelor. Și în acest caz se va considera un receptor oarecare trifazat, static, dezechilibrat, alimentat printr-o rețea echilibrată (cu impedanțele pe faze egale între ele) de la un generator de asemenea echilibrat, avînd numai tensiuni electromotoare simetrice directe. Impedanțele generatorului pot fi considerate fie neglijabile (generator de putere infinită), fie incluse în impedanțele echilibrate ale rețelei. Conductorul de nul al rețelei este considerat ca fiind legat între punctul neutru al generatorului și punctul neutru al receptorului și are o impedanță echivalentă pe care o notăm cu Z_N. În aceste condiții, ecuațiile cele mai generale în componente Fortescue pot fi exprimate astfel [6, 7]:

$$\begin{vmatrix} E_h \\ E_d \\ E_i \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} Z_E + 3Z_N & Z_{Di} & Z_{Dd} \\ Z_{Dd} & Z_E & Z_{Di} \\ Z_{Di} & Z_{Dd} & Z_E \end{vmatrix} \begin{vmatrix} I_h \\ I_d \\ I_i \end{vmatrix} \qquad (1)$$

Ținînd seama de condițiile constructive ale generatorului, stabilite prin ipotezele de mai sus ($E_h = 0$ și $E_i = 0$), ecuația (2) capătă o formă simplificată:

$$\begin{vmatrix} I_h \\ I_d \\ I_i \end{vmatrix} = \frac{E_d}{A} \begin{vmatrix} Z_{Dd}^2 - Z_E Z_{Di} \\ Z_E^2(1+\delta) - Z_{Dd}Z_{Di} \\ Z_{Di}^2 - Z_E Z_{Dd}(1+\delta) \end{vmatrix} \qquad (3)$$

A are aceeași semnificație ca și în cazul ecuației (2). Ecuația (3) reprezintă cazul general pentru un receptor dezechilibrat, alimentat în condițiile stabilite. Cazurile particulare se referă la valorile extreme ale impedanței conductorului de nul.

Pentru cazul conductorului de nul cu impedanță neglijabilă $\delta = 0$ ecuația (3) devine (a se vedea și [1]):

$$\begin{vmatrix} I_h \\ I_d \\ I_i \end{vmatrix} = \frac{E_d}{A} \begin{vmatrix} Z_{Dd}^2 - Z_E Z_{Di} \\ Z_E^2 - Z_{Dd} Z_{Di} \\ Z_{Di}^2 - Z_E Z_{Dd} \end{vmatrix} \qquad (4)$$

$$A = Z_E^3 + Z_{Dd}^3 + Z_{Di}^3 - 3Z_E Z_{Dd} Z_{Di}$$

Notă: În această lucrare toate mărimile sînt exprimate în numere complexe, fără a se mai face o notație specială.

* S-a considerat că între faze nu există impedanțe mutuale (sînt neglijabile), ceea ce corespunde cazului cel mai răspîndit în practică.

În cazul cînd receptorul are nulul izolat $\delta \to \infty$ deducem :

$$\left|\begin{matrix} I_d \\ I_i \end{matrix}\right| = \frac{E_d}{Z_E^2 - Z_{Dd}Z_{Di}} \left|\begin{matrix} Z_E \\ -Z_{Dd} \end{matrix}\right| \qquad I_h = 0 \quad (5)$$

Ecuaţiile (3), (4), (5) pot fi scrise şi în mărimi relative. Pentru curenţi se ia ca bază curentul simetric, $I_s = \frac{E_d}{Z_E}$, rezultat în urma aplicării tensiunii E_d, simetrică, pe sistemul de impedanţe echilibrate Z_E, impedanţele dezechilibrate, $k_d = \frac{Z_{Dd}}{Z_E}$ şi $k_i = \frac{Z_{Di}}{Z_E}$, avînd ca mărime de bază pe Z_E; dat fiind interpretarea lor, aceste mărimi mai pot fi denumite coeficienţi sau factori de dezechilibru ad dextram, respectiv ad laevam.
Din ecuaţia (3) se deduce :

$$\left|\begin{matrix} i_h \\ i_d \\ i_i \end{matrix}\right| = \frac{1}{\alpha} \left|\begin{matrix} k_d^2 - k_i \\ 1 + \delta - k_d k_i \\ k_i^2 - k_d(1 + \delta) \end{matrix}\right| \qquad (7)$$

unde $\alpha = \frac{A}{Z_E^3} = 1 + k_d^3 + k_i^3 - 3k_d k_i + \delta(1 - k_d k_i)$.

În ecuaţia (7) s-a notat :

$$i_t = \frac{I_t}{I_s} \qquad t = (h, d, i)$$

Pentru cazul $\delta = 0$ se obţine :

$$\left|\begin{matrix} i_h \\ i_d \\ i_i \end{matrix}\right| = \frac{1}{\alpha} \left|\begin{matrix} k_d^2 - k_i \\ 1 - k_d k_i \\ k_i^2 - k_d \end{matrix}\right| \qquad (8)$$

$$\alpha = 1 + k_d^3 + k_i^3 - 3k_d k_i$$

Iar în cazul $\delta \to \infty$:

$$\left|\begin{matrix} i_d \\ i_i \end{matrix}\right| = \frac{1}{1 - k_d k_i} \left|\begin{matrix} 1 \\ -k_d \end{matrix}\right| \qquad i_h = 0 \qquad (9)$$

3. Căderile de tensiune pe elementele circuitului electric analizat pot fi împărţite după componentele impedanţelor. Astfel, acestea pot fi divizate în următoarele componente înseriate :

(*i*) — impedanţa echilibrată a reţelei de alimentare (incluzînd şi impedanţa internă a generatorului) pe care o caracterizăm prin coeficientul β :

$$Z_{reţea} = \beta Z_E ; \qquad (10)$$

(*ii*) — impedanţa părţii echilibrate a receptorului :

$$Z_{Ereceptor} = (1 - \beta) Z_E ; \qquad (11)$$

(*iii*) — impedanţa părţii dezechilibrate a receptorului ;
(*iv*) — impedanţa conductorului neutru.
Cu aceste notaţii şi consideraţii, matricea impedanţelor scrisă în componente Fortescue are aspectul de mai jos :

$$\|Z\| = Z_E \left[\left|\begin{matrix} \beta & 0 & 0 \\ 0 & \beta & 0 \\ 0 & 0 & \beta \end{matrix}\right| + \left|\begin{matrix} 1-\beta & 0 & 0 \\ 0 & 1-\beta & 0 \\ 0 & 0 & 1-\beta \end{matrix}\right| + \left|\begin{matrix} 0 & k_i & k_d \\ k_d & 0 & l_i \\ k_i & k_d & 0 \end{matrix}\right| + \left|\begin{matrix} \delta & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{matrix}\right| \right] \qquad (12)$$

Cele patru matrice din ecuaţa (12) corespund celor patru grupe (zone) definite mai sus.
Repartizarea căderilor de tensiune pe cele patru părţi ale impedanţelor apare ca mai jos :

$$\left|\begin{matrix} \Delta u_h \\ \Delta u_d \\ \Delta u_i \end{matrix}\right|_{(i)} = \frac{\beta}{\alpha} \left|\begin{matrix} k_d^2 - k_i \\ 1 + \delta - k_d k_i \\ k_i^2 - k_d(1 + \delta) \end{matrix}\right| \qquad (13)$$

$$\left|\begin{matrix} \Delta u_h \\ \Delta u_d \\ \Delta u_i \end{matrix}\right|_{(ii)} = \frac{1-\beta}{\alpha} \left|\begin{matrix} k_d^2 - k_i \\ 1 + \delta - k_d k_i \\ k_i^2 - k_d(1 + \delta) \end{matrix}\right| \qquad (14)$$

$$\left|\begin{matrix} \Delta u_h \\ \Delta u_d \\ \Delta u_i \end{matrix}\right|_{(iii)} = \frac{1}{\alpha} \left|\begin{matrix} -k_d^2 + k_i + \delta(-k_d^2 + k_i) \\ k_d^3 + k_i^3 - 2k_d k_i - \delta k_d k_i \\ -k_i^2 + k_d(1 + \delta) \end{matrix}\right| \qquad (15)$$

$$\left|\begin{matrix} \Delta u_h \\ \Delta u_d \\ \Delta u_i \end{matrix}\right|_{(iv)} = \frac{\delta}{\alpha} \left|\begin{matrix} k_d^2 - k_i \\ 0 \\ 0 \end{matrix}\right| \qquad (16)$$

Se observă uşor că :

$$\Sigma\Delta u_h = 0$$
$$\Sigma\Delta u_d = 1 \qquad (17)$$
$$\Sigma\Delta u_i = 0$$

Ecuaţiile de mai sus arată că partea dezechilibrată a receptorului corespunde unor căderi de tensiune analoage cu tensiunile electromotoare, pentru componentele asimetrice şi anasimetrice, acestea acoperind căderile de tensiune de pe părţile echilibrate ale circuitului şi din conductorul de nul — zonele (*i*), (*ii*) şi (*iv*).

În tabelul 1 din anexă se prezintă expresiile căderilor de tensiune pentru diferitele valori ale mărimii δ. În toate cazurile, partea dezechilibrată se comportă ca un generator cu tensiuni electromotoare asimetrice şi anasimetrice.

4. În mod asemănător se pot exprima puterile din cele patru zone ale circuitului electric prezentat ca exemplificare. Pentru calculul puterilor se folosesc expresiile :

$$S_k = 3U_k I_k^* \quad (k = h,\ d,\ i)$$

Evaluarea consumurilor tehnologice în reţele se poate face cu expresia :

$$S_{k(i)} = 3\Delta U_{k(i)} I_k^* = 3Z_{(i)}|I_k|^2 = 3\beta Z_E|I_k|^2$$
$$(k = h,\ d,\ i)$$

Bineînţeles,

$$S_{\Sigma(i)} = 3Z_E(I_h^2 + I_d^2 + I_i^2) \quad \text{sau,}$$
$$S_{\Sigma(i)} = Z_E(I_R^2 + I_S^2 + I_R^2)$$

de unde rezultă identitatea :

$$I_R^2 + I_S^2 + I_T^2 = 3(I_h^2 + I_d^2 + I_i^2)$$

care se poate demonstra şi direct.

Notînd cu S_E puterea debitată de generator în cazul cînd receptorul, inclusiv reţeaua de alimentare şi generatorul ar avea suma impedanţelor egală cu Z_E şi acestea ar fi complet echilibrate,

$$S_E = 3\frac{|E_d|^2}{|Z_E|^2}Z_E \qquad (18)$$

şi efectuînd calculele, se obţine :

— pentru reţea, zona (i) :

$$\begin{vmatrix} S_h \\ S_d \\ S_i \end{vmatrix}_{(i)} = S_E\beta \begin{vmatrix} \dfrac{|k_d^2 - k_i|^2}{|\alpha|^2} \\ \dfrac{|1 + \delta - k_d k_i|^2}{|\alpha|^2} \\ \dfrac{|k_i^2 - k_d - \delta k_d|^2}{|\alpha|^2} \end{vmatrix} \qquad (19)$$

Aceste puteri constituie consumuri tehnologice (pierderi) :

— pentru partea echilibrată a receptorului, zona (*ii*) :

$$\begin{vmatrix} S_h \\ S_d \\ S_i \end{vmatrix}_{(ii)} = S_E(1-\beta) \begin{vmatrix} \dfrac{|k_d^2 - k_i|^2}{|\alpha|^2} \\ \dfrac{|1 + \delta - k_d k_i|^2}{|\alpha|^2} \\ \dfrac{|k_i^2 - k_d - \delta k_d|^2}{|\alpha|^2} \end{vmatrix} \qquad (20)$$

sau :

$$\|S\|_{(ii)} = \begin{vmatrix} S_h \\ S_d \\ S_i \end{vmatrix}_{(i)} \frac{1-\beta}{\beta}$$

— pentru partea dezechilibrată a receptorului, zona (*iii*) :

$$\begin{vmatrix} S_h \\ S_d \\ S_i \end{vmatrix}_{(iii)} = S_E \begin{vmatrix} \dfrac{-|k_d^2 - k_i|^2 - \delta|k_d^2 - k_i|^2}{|\alpha|^2} \\ \dfrac{(k_d^3 + k_i^3 - 2k_d k_i - \delta k_d k_i)(1 + \delta - k_d k_i)^*}{|\alpha|^2} \\ \dfrac{-|k_i^2 - k_d - \delta k_d|^2}{|\alpha|^2} \end{vmatrix} \qquad (21)$$

— pentru conductorul de nul, zona (*iv*) :

$$\begin{vmatrix} S_h \\ S_d \\ S_i \end{vmatrix}_{(iv)} = S_E \begin{vmatrix} \dfrac{\delta|k_d^2 - k_i|^2}{|\alpha|^2} \\ 0 \\ 0 \end{vmatrix} \qquad (22)$$

Se verifică şi în acest fel că puterile debitate de generator au următoarele expresii :

$$S_{gen_h} = S_{h_\Sigma} = 0$$
$$S_{gen_d} = S_{d_\Sigma} = S_E\frac{(1 + \delta - k_d k_i)^*}{\alpha^*} \qquad (23)$$
$$S_{gen_i} = S_{i_\Sigma} = 0$$

De asemenea, se verifică faptul că partea dezechilibrată a receptorului devine generatoare de putere pe componentele asimetrice şi anasi-

Tabelul 1

Căderi relative de tensiune

Mărime de bază = E_d

Componente	Zone (i)	(ii)	(iii)	(iv)
I. Regim echilibrat, $Z_{Dd} = 0$ $Z_{Di} = 0$				
h	0	0	0	0
d	β	$1 - \beta$	0	0
i	0	0	0	0
II. Regim dezechilibrat, cazul general				
h	$\frac{\beta}{\alpha}(k_d^2 - k_i)$	$\frac{1-\beta}{\alpha}(k_d^2 - k_i)$	$-\frac{1}{\alpha}(1+\delta)(k_d^2 - k_i)$	$\frac{\delta}{\alpha}(k_d^2 - k_i)$
d	$\frac{\beta}{\alpha}(1 + \delta - k_d k_i)$	$\frac{1-\beta}{\alpha}(1 + \delta - k_d k_i)$	$\frac{1}{\alpha}(k_d^3 + k_i^3 - (2+\delta) k_d k_i$	0
i	$\frac{\beta}{\alpha}[k_i^2 - k_d(1+\delta)]$	$\frac{1-\beta}{\alpha}[k_i^2 - k_d(1+\delta)]$	$-\frac{1}{\alpha}[k_i^2 - (1+\delta) k_d]$	0
$\alpha = 1 + k_d^3 + k_i^3 - 3k_d k_i(1 - k_d k_i)$				
III. Regim dezechilibrat $\delta = 0$				
h	$\frac{\beta}{\alpha}(k_d^2 - k_i)$	$\frac{1-\beta}{\alpha}(k_d^2 - k_i)$	$-\frac{1}{\alpha}(k_d^2 - k_i)$	0
d	$\frac{\beta}{\alpha}(1 - k_d k_i)$	$\frac{1-\beta}{\alpha}(1 - k_d k_i)$	$\frac{1}{\alpha}(k_d^3 + k_i^3 - 2k_d k_i)$	0
i	$\frac{\beta}{\alpha}(k_i^2 - k_d)$	$\frac{1-\beta}{\alpha}(k_i^2 - k_d)$	$-\frac{1}{\alpha}(k_i^2 - k_d)$	0
$\alpha = 1 + k_d^3 + k_i^3 - 3k_d k_i$				
IV. Regim dezechilibrat $\delta \to \infty$				
h	0	0	$-(k_d^2 - k_i)\frac{1}{\alpha}$	$(k_d^2 - k_i)\frac{1}{\alpha}$
d	$\beta\frac{1}{\alpha}$	$(1-\beta)\frac{1}{\alpha}$	$-k_d k_i \frac{1}{\alpha}$	0
i	$-\beta k_d \frac{1}{\alpha}$	$-(1-\beta)k_d \frac{1}{\alpha}$	$k_d \frac{1}{\alpha}$	0
$\alpha = 1 - k_d k_i$				

metrice, asigurînd consumul de putere pe aceste componente în partea echilibrată a ansamblului și pe conductorul de nul.

În tabelul 2 se prezintă ansamblul expresiilor puterilor. Se observă că în zonele echilibrate ale circuitului, inclusiv în partea echilibrată a rețelei de alimentare, factorul de putere este egal cu unghiul intern al impedanței asociate.

Examinarea tabelelor 1 și 2 ne conduce la o serie de considerații :

a. Fenomenele care se referă la „conversia" puterilor și energiilor, se petrec în partea dezechilibrată a sistemului de impedanțe.

b. Puterile componentelor asimetrice și anasimetrice din partea dezechilibrată a circuitului au semnul schimbat față de puterile compo-

Tabelul 2

Puteri relative

Mărime de bază :

$$S = S_E \frac{|1 + \delta - k_d k_i|^2}{|\alpha|^2}$$

$$S_E = 3 \frac{|E_d|^2}{|Z_E|^2} Z_E$$

Componente	Zone (i)	(ii)	(iii)	(iv)
I. Regim echilibrat $Z_{Dd} = 0$ $Z_{Di} = 0$				
Mărimea de bază se reduce la S_E				
h	0	0	0	0
d	β	$1 - \beta$	0	0
i	0	0	0	0
II) Regim dezechilibrat, cazul general				
h	$\beta \frac{\lvert k_d^2 - k_i\rvert^2}{\lvert 1 + \delta - k_d k_i\rvert^2}$	$(1-\beta) \frac{\lvert k_d^2 - k_i\rvert^2}{\lvert 1 + \delta - k_d k_i\rvert^2}$	$\frac{(1 + \delta)\lvert k_d^2 - k_i\rvert^2}{\lvert 1 + \delta - k_d k_i\rvert^2}$	$\frac{\delta \lvert k_d^2 - k_i\rvert^2}{\lvert 1 + \delta - k_d k_i\rvert^2}$
d	β	$1 - \beta$	$\frac{\alpha - (1 + \delta - k_d k_i)}{1 + \delta - k_d k_i}$	0
i	$\beta \frac{\lvert k_i^2 - (1 + \delta) k_d\rvert^2}{\lvert 1 + \delta - k_d k_i\rvert^2}$	$(1-\beta) \frac{\lvert k_i^2 - (1 + \delta) k_d\rvert^2}{\lvert 1 + \delta - k_d k_i\rvert^2}$	$\frac{\lvert k_i^2 - (1 + \delta) k_d\rvert^2}{\lvert 1 + \delta - k_d k_i\rvert^2}$	0
(În expresia mărimii de bază S, $\alpha = 1 + k_d^3 + k_i^3 - 3k_d k_i + \delta(1 - k_d k_i)$)				
III. Regim dezechilibrat $\delta = 0$				
h	$\beta \frac{\lvert k_d^2 - k_i\rvert^2}{\lvert 1 - k_d k_i\rvert^2}$	$(1-\beta) \frac{\lvert k_d^2 - k_i\rvert^2}{\lvert 1 - k_d k_i\rvert^2}$	$\frac{\lvert k_d^2 - k_i\rvert^2}{\lvert 1 - k_d k_i\rvert^2}$	0
d	β	$1 - \beta$	$\frac{\alpha - (1 - k_d k_i)}{1 - k_d k_i}$	0
i	$\beta \frac{\lvert k_i^2 - k_d\rvert^2}{\lvert 1 - k_d k_i\rvert^2}$	$(1-\beta) \frac{\lvert k_i^2 - k_d\rvert^2}{\lvert 1 - k_d k_i\rvert^2}$	$\frac{\lvert k_i^2 - k_d\rvert^2}{\lvert 1 - k_d k_i\rvert^2}$	0
IV. Regim dezechilibrat $\delta \to \infty$				
Mărimea de bază devine $S = \frac{1}{\lvert 1 - k_d k_i\rvert^2} S_E$				
h	0	0	0	0
d	β	$1 - \beta$	$- k_d k_i$	0
i	$\beta \lvert k_d\rvert^2$	$(1 - \beta) \lvert k_d\rvert^2$	$- \lvert k_d\rvert^2$	0

nentelor omonime din partea echilibrată. Știind că în impedanțele echilibrate pasive puterea este totdeauna „consumată" rezultă că partea dezechilibrată „generează" putere în cele două componente a- și anasimetrice.

c. Condiția necesară de existență a unui receptor static este ca puterea absorbită de zona dezechilibrată prin componentele directe (simetrice) să fie mai mare decît suma puterilor pe componentele asimetrice și anasimetrice. Această condiție se referă îndeosebi la puterile active (partea reală a numerelor complexe).

Preluînd elementele din tabelul 2.II. apar următoarele condiții :

— pentru cazul general :

$$\alpha(1 + \delta - k_d k_i)^* - |1 + \delta - k_d k_i|^2 \geqslant$$
$$\geqslant (1 + \delta)|k_d^2 - k_i|^2 + |k_i^2 - (1 + \delta) k_d|^2 \quad (24)$$

— pentru cazul $\delta = 0$:

$$\alpha(1 - k_d k_i)^* - |1 - k_d k_i|^2 \geqslant$$
$$\geqslant |k_d^2 - k_i|^2 + |k_i^2 - k_d|^2 \quad (25)$$

— pentru cazul $\delta \to \infty$:

$$-k_d k_i > 0 \qquad \text{și} \qquad |k_d k_i| \geq |k_d|^2 \tag{26}$$

Ultimul caz, care corespunde unui receptor cu neutrul izolat, prezintă expresii mai simple pentru condițiile de existență. Generatorul debitează pe componentele simetrice (directe) o putere proporțională cu expresia $(1 - k_d k_i)$ din care, în partea dezechilibrată se primește o parte proporțională cu expresia $(-k_d k_i)$ care, așa cum s-a arătat, trebuie să fie o mărime pozitivă. Ținînd seama de semnificațiile coeficienților, rezultă că argumentele componentelor impedanțelor trebuie să respecte condiția ca $(\gamma_{Dd} + \gamma_{Di})$ să se găsească în intervalul:

$$\left[\left(\frac{\pi}{2} + 2\gamma_E\right) \div (2\gamma_E) \div \left(\frac{3\pi}{2} + 2\gamma_E\right)\right] \tag{27}$$

Deoarece impedanța echilibrată Z_E se află totdeauna în cadranul I sau IV, partea reală fiind pozitivă, argumentul γ_E are valori între $-\frac{\pi}{2}$ și $+\frac{\pi}{2}$ trecînd prin zero. Pentru fiecare valoare a lui γ_E, vectorului produs $Z_{Dd} Z_{Di}$ îi corespunde un semispațiu corespunzător intervalului (27). Dacă vectorul produs se găsește în spațiul suplimentar celui indicat, sistemul dezechilibrat de impedanțe reprezintă un generator care produce putere pe care o debitează în impedanțele echilibrate.

Observînd că puterea anasimetrică este proporțională cu mărimea $|k_d|^2$ apare necesar ca:

$$\mathrm{Re}(k_d k_i) \geq |k_d|^2 \tag{28}$$

Aceasta este a doua condiție de existență a receptoarelor trifazate pasive.

în cazul în care Z_E ar fi neglijabil, tensiunea neutrului ar crește tinzînd către infinit.

5. Se știe că regimul optim de funcționare (cu consumuri tehnologice specifice minime) se obține în cazul circuitelor echilibrate. Pentru comparația a două regimuri echivalente din punctul de vedere al rețelei de alimentare și al puterii utile cerute, se vor lua două scheme, una echilibrată și una dezechilibrată. Mărimile din schema dezechilibrată vor fi notate cu un accent spre a se deosebi de cele din schema echilibrată. Condiția ca rețelele de alimentare în cele două cazuri să fie aceleași se exprimă prin relația:

$$\left.\begin{aligned} \beta' Z'_E &= \beta Z_E \\ \text{de unde:} \qquad Z'_E &= \frac{\beta}{\beta'} Z_E \end{aligned}\right\} \tag{29}$$

Știind că:

$$S_E = 3\,\frac{|E_d|^2}{Z_E^*},$$

rezultă:

$$S'_E = \frac{|E_d|^2}{\left(\frac{\beta}{\beta'} Z_E\right)^*}. \tag{30}$$

Admițînd că β și β' sînt numere reale, rezultă:

$$S'_E = \frac{\beta'}{\beta} S_E. \tag{31}$$

Condiția ca în cele două variante puterea utilă să fie aceeași (se folosesc tabelele 2.I. și 2.II. coloanele (*ii*) și (*iii*)) se exprimă astfel:

$$\left[(1-\beta')\,\frac{|k_d^2 - k_i|^2 + |\varepsilon|^2 + |k_i^2 - k_d - \delta k_d|^2 - (1+\delta)|k_d^2 - k_i|^2 - |k_i^2 - (1+\delta)k_d|^2 + \alpha\varepsilon^* - |\varepsilon|^2}{|\varepsilon|^2}\right] S'_{Ed} =$$

$$= (1-\beta)\,S_E \quad , \qquad \varepsilon = 1 + \delta - k_d k_i \tag{32}$$

Din tabelul 2.IV. se mai poate deduce că în ipoteza $k_i = 0$ sistemul de impedanțe reprezintă un generator de putere inversă a cărui tensiune electromotoare — conform tabelului 1.IV. — este $E_d k_d$. Tensiunea neutrului devine maximă și egală cu $E_d k_d^2$.

Se mai poate vorbi despre o „rezonanță în componente simetrice" a neutrului, deoarece,

$$S'_{Ed} = \frac{|\varepsilon|^2}{|\alpha|^2} S'_E = \frac{|\varepsilon|^2}{|\alpha|^2}\,\frac{\beta'}{\beta} S_E \tag{33}$$

$$[|k_d^2 - k_1|^2 + |\varepsilon|^2 + |k_i^2 - k_d - \delta k_d|^2]\beta'^2 -$$

$$- [\alpha\varepsilon^* - \delta|k_d^2 - k_i|^2]\beta' + (1-\beta)\beta|\alpha|^2 = 0 \tag{34}$$

Se deduce:

$$\beta' = \frac{\alpha\varepsilon^* - \delta|k_d^2 - k_i|^2 \pm \sqrt{[\alpha\varepsilon^* - \delta|k_d^2 - k_i|^2]^2 - 4[|k_d^2 - k_i|^2 + |\varepsilon|^2 + |k_i^2 - k_d - \delta k_d|^2](1-\beta)\beta|\alpha|^2}}{2[|k_d^2 - k_i|^2 + |\varepsilon|^2 + |k_i^2 - k_d - \delta|k_d|^2]} \tag{35}$$

Pentru β' se găsesc două valori care corespund condiţiilor impuse iniţial, dar în calcule este suficient să se ia în considerare numai valoarea care se apropie de căderea de tensiune admisibilă.

În anexă se prezintă calculele pentru un exemplu numeric pornind de la un dezechilibru de impedanţe corespunzător valorilor $k_d = 0{,}5$ şi $k_i = -0{,}6$. Rezultatele arată că pierderile suplimentare de energie datorate regimului dezechilibrat, în raport cu regimul echilibrat, sînt de ordinul:

- 183% în reţelele cu conductor neutru, din care 117% sînt pierderi în conductorul neutru;
- 63% în reţelele cu conductor neutru cu impedanţă neglijabilă;
- 33% în reţelele cu neutru izolat.

Se apreciază că diferenţele sînt importante şi de aceea calculele sînt justificate.

6. În lucrarea de faţă au fost folosite mai multe concepte, care, în general, nu sînt unanim acceptate. În literatura de specialitate se fac uneori chiar confuzii între termenii folosiţi [8] [9]; în special se confundă noţiunile de dezechilibru şi de nesimetrie (împreună cu familiile de cuvinte asociate). De aceea, se consideră că este necesară o precizare şi apoi o reglementare a utilizării conceptelor şi definiţiilor care să fie unanim acceptate. În acest articol s-au folosit cîţiva termeni noi care se propun pentru discuţie şi cu această ocazie.

În teoria şi practica rezolvării circuitelor reţelelor electrice trifazate intervin mai multe clase de mărimi:

— mărimi armonice (sinusoidale în timp) care pot fi modelate cu ajutorul fazorilor; în această clasă intră tensiunile şi curenţii;

— mărimi care rezultă din rapoartele a două mărimi armonice cum sînt impedanţele şi admitanţele care caracterizează un anumit circuit electric pentru o anumită frecvenţă de lucru; astfel de mărimi pot fi reprezentate, după cum se ştie, prin afixe în planul complex;

— mărimi care rezultă din produsul a două mărimi armonice, cum sînt puterile electrice, care, de asemenea, pot fi reprezentate cu ajutorul mărimilor complexe.

Într-un sistem trifazat, toate cele trei clase de mărimi pot fi asociate fiecărei faze şi, din acest punct de vedere, pot fi calificate ca fiind trifazate.

Teoria şi practica metodei componentelor simetrice (Stokvis şi Fortescue) a vizat, în primul rînd, mărimile armonice. În practică, metoda se poate extinde la orice sistem de mărimi sau clase de mărimi care pot fi reprezentate prin afixe într-un plan complex, respectiv mărimi care pot fi reprezentate prin trei vectori coplanari concurenţi.

În lucrarea de faţă, termenii din familia cuvîntului „simetrie" au fost folosiţi pentru mărimile armonice. Prefixele folosite au fost „ana" cu semnificaţia „invers" şi „a" cu semnificaţia „fără", în cazul de faţă fără simetrie triaxială.

Pentru impedanţe şi admitanţe s-au folosit termeni din familia cuvîntului „echilibrare". Un sistem de impedanţe „echilibrat" are impedanţele de pe fiecare fază egale în modul şi în argument şi se caracterizează prin faptul că tensiunile aplicate au în componente simetrice aceleaşi nume ca şi curenţii care parcurg aceste impedanţe.

În general, un sistem de impedanţe se poate descrie prin două grupe de componente, o parte echilibrată şi o parte dezechilibrată. Caracteristic pentru partea dezechilibrată este faptul că suma impedanţelor pe faze este nulă:

$$\begin{vmatrix} Z_R \\ Z_S \\ Z_T \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} Z_E \\ Z_E \\ Z_E \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} Z_{DR} \\ Z_{DS} \\ Z_{DT} \end{vmatrix} \tag{36}$$

în care:

$$\begin{vmatrix} Z_{DR} \\ Z_{DS} \\ Z_{DT} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 1 & 1 \\ a^2 & a \\ a & a^2 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} Z_{Dd} \\ Z_{Di} \end{vmatrix} \tag{37}$$

Se observă uşor că:

$$Z_{DR} + Z_{DS} + Z_{DT} = 0. \tag{38}$$

Dacă $Z_{Dd} = 0$ şi $Z_{Di} = 0$ sistemul de impedanţe este *echilibrat*. Dacă Z_E tinde către zero (este neglijabil) sistemul de impedanţe este teoretic *complet dezechilibrat* [1].

Pentru a treia clasă de mărimi, respectiv pentru puteri se pot folosi expresiile „puteri corespunzătoare componentelor asimetrice, simetrice sau anasimetrice (sau homopolare directe sau inverse)". Dacă nu există dubii asupra înţelegerii conceptelor, pentru prescurtarea exprimărilor se poate spune:

— putere asimetrică (homopolară);
— putere simetrică (directă);
— putere anasimetrică (inversă).

7. În loc de concluzii, pot fi scoase în evidenţă cîteva aspecte noi ale teoriei receptoarelor trifazate statice dezechilibrate. Desigur, unele dintre aceste aspecte pot fi generalizate pentru sisteme simetrice polifazate. Între aceste aspecte sînt evidenţiate mai jos cîteva.

— Afixele reprezentative ale impedanţelor unui sistem trifazat receptor trebuie să se găsească în cadranele I sau IV din planul complex, pentru ca toate impedanţele să aibă partea reală pozitivă. Bineînţeles, această aserţiune se referă la receptoarele statice, fără tensiuni electromotoare interne. De o importanţă deosebită se bucură partea (componenta) echi-

librată a impedanţelor notată cu Z_E, care are între altele proprietatea că circulaţia oricărei componente simetrice de curent prin aceasta produce căderi de tensiune de componente omonime.

— Partea dezechilibrată a impedanţelor are rol de pseudoconvertizor. Aceasta este sediul unor tensiuni negative pe componentele asimetrică şi anasimetrică, care acoperă căderile de tensiune de pe partea echilibrată şi de pe conductorul de nul (dacă există). Acelaşi lucru se petrece şi cu puterile care intră în joc. Un sistem de impedanţe echilibrat este totdeauna absorbant de putere activă. Partea dezechilibrată a sistemului de impedanţe poate deveni producătoare de putere activă pe componentele asimetrice şi anasimetrice. Generatoarele de putere (sursa reală de putere) sînt considerate simetrice şi deci puterea convertită în partea dezechilibrată pe componentele a- şi anasimetrice trebuie absorbită prin componentele simetrice. De aceea, în cazul receptoarelor trifazate, statice, condiţiile (24), (25), (26) sînt obligatorii pentru existenţa reală a impedanţelor.

— Cazul receptoarelor fără conductor de nul prezintă un interes special. Receptoarele alimentate direct din reţelele de medie şi de înaltă tensiune intră în această categorie. De asemenea receptoarele trifazate cu impedanţele legate în triunghi pot fi modelate prin scheme echivalente în stea cu neutrul izolat. Evident, în aceste scheme componenta asimetrică a curentului este nulă $I_h = 0$. În legătură cu componenta anasimetrică, observăm din ecuaţia (9) că aceasta depinde de factorul de dezechilibru cu simetrie ad dextram, k_d. În cazul în care $k_d = 0$, receptorul absoarbe numai curent simetric, oricare ar fi valoarea factorului k_i. Cu alte cuvinte, aplicarea unui sistem de tensiuni simetrice directe pe un receptor trifazat static neechilibrat poate conduce la obţinerea unui sistem de curenţi simetrici (sistem direct) dacă este realizată condiţia $Z_{Dd} = 0$, componenta dezechilibrată Z_{Di} avînd orice valoare. Tabelul 1.IV. ne arată că la respectarea condiţiilor de mai sus, partea dezechilibrată a schemei receptorului are căderile de tensiune pe componentele simetrice şi anasimetrice nule. De asemenea, tabelul 2.IV. arată că şi puterile în această zonă a receptorului sînt nule. Condiţia $Z_{Dd} = 0$ este echivalentă cu expresia : $Z_R + aZ_S + a^2Z_T = 0$.

— Ecuaţia potenţialului neutrului receptorului fără conductor de nul, faţă de nulul generatorului, este cunoscută sub forma :

$$E_N = E_d \frac{Y_R + a^2 Y_S + a Y_T}{Y_R + Y_S + Y_T}, \tag{39}$$

în care, dacă înlocuim admitanţele cu inversele impedanţelor, iar pe acestea, la rîndul lor, cu componentele Fortescue, se obţine expresia :

$$E_N = E_d \frac{Z_{Dd}^2 - Z_E Z_{Di}}{Z_E^2 - Z_{Dd} Z_{Di}} \tag{40}$$

echivalentă cu cea prezentată în tabelul 1.IV. în rîndul corespunzător tensiunilor asimetrice, zona delimitată prin coloanele (*iii*) şi (*iv*). Cu alte cuvinte, partea dezechilibrată a receptorului este sediul tensiunii electromotoare care acoperă căderea de tensiune de pe conductorul neutru. Expresia (40) arată că, în cazul k_d tinzînd către infinit, potenţialul neutrului tinde către infinit, producîndu-se un fel de rezonanţă de componente simetrice. Acelaşi fapt se produce şi în cazul în care $k_d = 0$, dar k_i tinde către infinit. Aceasta înseamnă că Z_E trebuie să fie neglijabil în raport cu Z_{Dd} şi cu Z_{Di}. În realitate, condiţiile de existenţă ale impedanţelor impun, după cum am văzut, relaţia $\mathrm{Re}(Z_E) \geqslant \mathrm{Re}(Z_{Dj})$, unde $j =$ $= (d$ sau $i)$, condiţie care limitează creşterea nelimitată a potenţialului neutrului.

— Măsurarea puterilor corespunzătoare componentelor simetrice se poate simplifica în cazul $I_h = 0$. Ţinînd seama de relaţia $I_S = -I_R - I_T$ se deduce :

$$\left.\begin{aligned} I_d &= \frac{1}{3}\left[I_R(1-a) + I_T(a^2-a)\right] \\ I_i &= \frac{1}{3}\left[I_R(1-a^2) + I_T(a-a^2)\right] \end{aligned}\right\} \tag{41}$$

sau :

$$\left.\begin{aligned} I_d &= \frac{1}{3}\left[I_R \cdot 1\left|\underline{-\frac{\pi}{6}} + I_T \cdot 1\right|\underline{-\frac{\pi}{2}}\right] \\ I_i &= \frac{1}{3}\left[I_R \cdot 1\left|\underline{+\frac{\pi}{6}} + I_T \cdot 1\right|\underline{+\frac{\pi}{2}}\right] \end{aligned}\right\} \tag{42}$$

Pentru tensiuni se ţine seama de teorema componentelor simetrice prin care se precizează că toţi fazorii care au aceleaşi vîrfuri au aceleaşi componente simetrice şi anasimetrice, diferenţa de origine exprimînd diferenţa de componente asimetrice (homopolare). În cazul de mai sus, luîndu-se ca origine unul din vîrfurile triunghiului tensiunilor, de exemplu vîrful S, se poate scrie :

$$\left.\begin{aligned} U_d &= \frac{1}{3}\left[(U_R - U_S) + a^2(U_T - U_S)\right] \\ U_i &= \frac{1}{3}\left[(U_R - U_S) + a(U_T - U_S)\right] \end{aligned}\right\} \tag{43}$$

Deci, pentru obținerea puterilor S_d și S_i se filtrează numai curenții I_R și I_T și tensiunile între faze U_{RS} și U_{TS}, ceea ce simplifică echipamentele de măsură.

— Examinarea tabelelor 1 și 2 sugerează o serie de considerații de interes pentru practica proiectării și exploatării sistemelor și rețelelor de alimentare a receptoarelor dezechilibrate. Astfel, se observă că relațiile care reprezintă căderile de tensiune în rețeaua de alimentare (tabelul 1, coloanele *i*) arată că acestea depind, pe de o parte de gradul de dezechilibru al impedanțelor receptorului (k_d și k_i), pe de altă parte, de impedanțele liniei (presupusă echilibrată) Z_E. Să împărțim rețeaua de alimentare în două : o parte este rețeaua locală de alimentare, care, în general, este în gestiunea și exploatarea întreprinderilor industriale, iar cealaltă parte este sistemul electroenergetic, a cărui impedanță poate fi echivalentă cu cea care corespunde puterii de scurtcircuit calculată la locul de separație. Deci :

$$\left.\begin{aligned} \beta Z_E &= \beta_1 Z_E + \beta_2 Z_E \\ \beta Z_E &= (\beta_1 + \beta_2) Z_E \end{aligned}\right\} \quad \text{sau :} \qquad (44)$$

unde :

β_1 este cota parte din Z_E corespunzătoare rețelei sistemului electroenergetic ;

β_2 — cota parte din Z_E corespunzătoare rețelei locale.

Coeficientul β_1 este invers proporțional cu puterea de scurtcircuit din amonte. Dacă sistemul este foarte puternic, cu putere de scurtcircuit foarte mare, este neglijabil, practic $\beta \approx 0$ și $\beta \approx \beta_2$.

În acest caz, la punctul de separație a sistemului de rețeaua locală nu apare nesimetrie de tensiuni. Nesimetria apare mai „în aval" după căderile de tensiune nesimetrice din rețeaua locală.

Tabelul 2 arată, de asemenea, că receptorul dezechilibrat transmite putere homopolară și inversă în rețelele de alimentare, în funcție de valoarea impedanței acestora. Dacă într-un anumit punct puterea de scurtcircuit este foarte mare, returnarea de putere corespunzătoare componentelor nesimetrice este neglijabilă. În acest fel se poate face următorul enunț :

Creșterea consumului propriu tehnologic (a pierderilor) în rețelele sistemului electroenergetic, datorită receptoarelor dezechilibrate, depinde de două categorii de factori : de coeficienții de dezechilibru și de puterile de scurtcircuit la bornele acestora.

— Metoda care pare mai eficace pentru măsurarea influenței unui receptor dezechilibrat asupra creșterii pierderilor în rețeaua de alimentare și sistemul electroenergetic este măsurarea puterilor și energiilor asimetrice și anasimetrice (homopolare și inverse) la bornele receptorului.

* * *

În încheiere, autorul consideră că mărimile și conceptele puse în discuție trebuie să fie analizate de specialiști și, în orice caz, trebuie să se ajungă la o unanimitate de vederi asupra conținutului și sferelor noționale.

Bibliografie

[1] Pavel, E. *Receptoare trifazate dezechilibrate. Caracteristici și particularități de funcționare în regimuri stabilizate.* În : Energetica,36, nr. 6, iun. 1988, p. 241—249.

[2] Meynaud, P. *Pollution de la tension. Voltage pollution.* În : RGE, 89, nr. 9, sept. 1980, p. 595—611.

[3] Bergeal, J., Bonnard, G., Moller, L. *Les déséquilibres de tension.* În : RGE, nr. 10, oct. 1985, p. 721—726.

[4] Bercovici, M., Arie, A., Tudose, M. *Aspecte privind aplicarea teoriei componentelor simetrice în analiza regimurilor nesimetrice a rețelelor electrice.* În : Buletinul IIPB, tom. XXIX, nr. 4, 1967.

[5] Țugulea, A. *Considerații privind efectele energetice în regimurile armonice nesimetrice ale rețelelor trifazate.* În : Energetica, 34, 1986, nr. 3, pg. 121—129.

[6] Timotin, A. și alții. *Lecții de bazele electrotehnicii, II.* Editura Didactică și Pedagogică, București, 1964.

[7] Antoniu, I. S. *Bazele electrotehnicii.* Editura Didactică și Pedagogică, București, 1974.

ANEXĂ

În scopul determinării influenței receptoarelor echilibrate sau dezechilibrate echivalente asupra consumurilor tehnologice din rețele, printr-un exemplu de calcul se examinează cîteva variante, caracterizate prin următoarele condiții comune :

— rețeaua de alimentare este aceeași (impedanțele rețelei sînt aceleași în toate variantele) ;

— puterea totală cerută și absorbită de receptor este aceeași.

Se consideră ca date comune ale problemei :

— tensiunea de alimentare simetrică :

$$E_d = \frac{6{,}6}{\sqrt{3}} = 3{,}8105 \text{ kV} ;$$

— impedanța rețelei de alimentare :

$$Z_{E\,rețea} = (0{,}0218 + j0{,}0218) = (0{,}0308 \; \underline{|45\,\Omega}) ;$$

— puterea consumată de consumator :

$$S_{receptor} = (90 + j90) \text{ kVA}.$$

Pentru cazurile receptoarelor dezechilibrate se consideră ca date comune $k_d = 0{,}5$ și $k_i = -0{,}6$.

Pentru conductorul de nul s-a considerat $\delta = 2$.

Calculele sînt efectuate pentru cele patru cazuri luate în considerare în tabelele I și II. De asemenea, zonele din circuitul echivalent sînt aceleași și sînt notate la fel : (*i*), (*ii*), (*iii*) și (*iv*), la care se va mai adăuga zona generatorului notată cu (*g*).

Pentru stabilirea caracteristicilor fiecărui caz în parte, s-a folosit relația (35) pentru calculul coeficientului β' luîndu-se în considerarea valoarea mai mică (mai apropiată de căderile de tensiune admisibile în rețele).

A. Repartiția puterilor pe componente și pe zone

(Pentru simplificare s-a considerat că toate argumentele impedanțelor sînt egale cu $\frac{\pi}{4}$; ca urmare, factorul de putere $\cos\varphi = \sin\varphi$; în tabel s-a figurat o singură valoare care reprezintă fie puterea activă, măsurată în kW, fie puterea reactivă, măsurată în kvar.)

Zone	Componente				
	h	*d*	*i*	Total	Total (*ii*) + (*iii*)
A.1. *Impedanțe echilibrate*			$\beta' = 0{,}1 = \beta$		
(*g*)	0	−100	0	−100	
(*i*)	0	10	0	10	
(*ii*)	0	90	0	90	}90
(*iii*)	0	0	0	0	
(*iv*)	0	0	0	0	
A.2. *Impedanțe dezechilibrate cu conductor de nul*			$\delta = 2$,	$\beta' = 0{,}15813$	
(*g*)	0	−118,3	0	−118,3	
(*i*)	0,928	13,996	1,67	16,595	
(*ii*)	4,944	74,52	8,893	88,4	}90
(*iii*)	−17,617	29,75	−10,56	1,6	
(*iv*)	11,745	0	0	11,745	
A.3. *Impedanțe dezechilibrate; conductor de nul cu impedanță nulă*			$\delta = 0$,	$\beta' = 0{,}14784$	
(*g*)	0	−106,277	0	−106,277	
(*i*)	4,825	11,287	0,131	16,243	
(*ii*)	27,814	65,06	0,755	93,6	}90
(*iii*)	−32,64	29,93	−0,885	−3,6	
(*iv*)	0	0	0	0	
A.4. *Impedanțe dezechilibrate fără conductor de nul*			$\delta \to \infty$,	$\beta' = 0{,}134357$	
(*g*)	0	−103,35	0	−103,35	
(*i*)	0	10,68	2,67	13,35	
(*ii*)	0	68,82	17,2	86	}90
(*iii*)	0	23,85	−19,87	4	
(*iv*)	0	0	0	0	

B. Recapitularea consumurilor proprii tehnologice (din zona *i*)

Cazul	c.p.t. [kW]	c.p.t. [%]	creștere [%]
A.1. Echilibrat	10	10	0
A.2. Dezechilibrat $\delta = 2$			
— în rețea	16,6	14,1	65,9
— în conductor de nul	11,7	9,9	117,5
Total	28,3	15	183,4
A.3. Dezechilibrat $\delta = 0$	16,2	15,3	62,4
A.4. Dezechilibrat $\delta \to \infty$	13,4	13	34

C. Repartiția căderilor da tensiune pe componente și zone [kV

Zone	Componente		
	h	*d*	*i*
C.1. *Impedanțe echilibrate*		$\beta' = 0{,}1$	
(*g*)	0	−3,8105	0
(*i*)	0	0,381	0
(*ii*)	0	3,4295	0
(*iii*)	0	0	0
(*iv*)	0	0	0
C.2. *Impedanțe dezechilibrate cu conductor de nul*		$\delta = 2$,	$\beta' = 0{,}15813$
(*g*)	0	−3,8105	0
(*i*)	0,11616	0,451	−0,156
(*ii*)	0,6185	2,401	−0,829
(*iii*)	−2,204	0,958	0,985
(*iv*)	1,469	0	0

Tensiunile la bornele receptorului :

$U_h = -0{,}11616$ $\quad k_{U_h} = 3{,}46\%$

$U_d = 3{,}3595$

$U_i = 0{,}156$ $\quad k_{U_i} = 4{,}64\%$

C.3. *Impedanțe dezechilibrate; impedanță nulă a conductorului de nul* $\delta = 0$, $\beta' = 0{,}14784$

(*g*)	0	−3,8105	0
(*i*)	0,2831	0,433	0,283
(*ii*)	1,5073	2,305	1,507
(*iii*)	−1,7904	1,072	−1,79
(*iv*)	0	0	0

Tensiunile la bornele receptorului :

$U_h = -0{,}2831$ $\quad k_{U_h} = 8{,}4\%$

$U_d = 3{,}3775$

$U_i = -0{,}283$ $\quad k_{U_i} = 8{,}4\%$

C.4. *Impedanțe dezechilibrate fără conductor de nul* $\delta \to \infty$ $\beta' = 0{,}134357$

(*g*)	0	−3,8105	0
(*i*)	0	0,4635	−0,2317
(*ii*)	0	2,4677	−1,2338
(*iii*)	−2,4915	0,8793	1,4655
(*iv*)	2,4915	0	0

Tensiunile la bornele receptorului :

$U_h = 0$ $\quad k_{U_h} = 0\%$

$U_d = 3{,}347$

$U_i = -0{,}2317$ $\quad k_{U_i} = 7\%$

Atenție : tensiunea homopolară aplicată pe receptor este, conform tabelului, de − 2,4915 kV

Grupele de tabele B și C arată că rețelele cu conductor de nul favorizează simetrizarea tensiunilor, în schimb au ca efect creșterea consumurilor tehnologice în rețele, spre deosebire de rețelele fără conductor de nul la care, în condiții echivalente, pierderile de energie sînt mai mici, în schimb nesimetriile tensiunilor sînt mai mari. Evident, cazul cel mai favorabil este acela al rețelelor și receptoarelor complet echilibrate.

(Primit la 21 iunie 1989, acceptat la 2 august 1989)

NOTĂ

Prezentul articol ridică o importantă problemă din calculul rețelelor electrice în special sub aspectul bilanțurilor de puteri absorbite de receptoarele statice trifazate dezechilibrate, alimentate din sisteme electroenergetice. Acest studiu trebuie continuat și pentru cazul unor receptoare statice sau rotative, pentru ca astfel să se obțină un model de calcul pentru aprecierea mai fidelă a creșterilor pierderilor tehnologice.

Menționăm că prin extinderea problemei la orice fel de receptor, va fi necesară o precizare referitoare la utilizarea indicilor prin care se marchează impedanțele sau admitanțele din matricele de transfer.

În literatura de specialitate din țara noastră, această problemă a fost tratată (vezi [4]) atît sub aspectul operațiilor matematice folosite, cît și al succesiunii în timp a mărimilor fazoriale (curenți sau tensiuni). Ca urmare este necesar ca în lucrările ulterioare să se analizeze în mod critic definirea noțiunilor și unificarea conceptelor folosite și a indicilor corespunzători.

Prof. dr. ing. Arie A. Arie

Concentratorul de praf în două trepte—soluție eficientă pentru stabilizarea arderii prafului de lignit la cazanul de 400 t/h din CET Oradea I

Ing. MIRCEA RĂDULESCU, ing. CRISTIAN TOTOLO, sing. EMIL TRIFA*

Descriptori: concentrater de praf, ardere lignit

La un cazan de 400 t/h cu funcționare pe lignit din centrala electrică de termoficare Oradea I s-a realizat modernizarea instalației de preparare și ardere, prin introducerea schemei de insuflare directă cu concentrator de praf în două trepte. S-a asigurat arderea stabilă a prafului de lignit la sarcini parțiale pînă la 55—60%, fără adaos de păcură, precum și reducerea pierderilor prin ardere incompletă din punct de vedere mecanic, cu pînă la două procente. Rezultatele obținute au recomandat extinderea soluțiilor și la cel de al doilea cazan de același tip din CET Oradea I.

At a 400 t/h lignite fuelled boiler of the thermal power plant Oradea I the coal processing and burning facility was adapted by introducing the direct injection scheme with two stage dust concentrator. The stable lignite dust burning with 55—60% partial loads, without oil additive, as well as the decrease of losses by incomplete burning from mechanical point of view of down to 2% was provided. The results obtained have recommended to extend the solutions to the second boiler of the same type of the thermal power plant Oradea I as well.

Rezultatele pozitive obținute în urma introducerii concentratoarelor centrifugale de cărbune praf într-o singură treaptă la cazanele de 165 t/h din CET Oradea I [1, 2] au condus la inițierea unor cercetări experimentale pentru aplicarea acestei tehnologii, cu perfecționări, și la cazanul de 400 t/h. Acesta a fost fabricat de uzina PBZKG — Brno din R. S. Cehoslovacă și este un cazan cu circulație naturală, fără supraîncălzire intermediară, cu următorii parametri nominali:

— debit de abur	111,11 kg/s (400t/h)
— presiune abur viu	13,7 MPa
— temperatură abur viu	818°K
— temperatură apă alimentare	503°K

Cărbunele de proiect este lignitul din bazinul Transilvania-vest cu următoarele caracteristici medii:

— putere calorifică inferioară	8,82 MJ/kg (2 100 kcal/kg)
— umiditate totală la masa inițială	34%
— cenușă la masa inițială	27,5%
— materii volatile la masa inițială	22%
— măcinabilitate (m_{VTI})	0,8—0,9
— granulație	0 — 30 mm

Cazanul este echipat cu șase mori ventilator de tipul MV-30, cu debitul nominal de proiect de 8,33 kg/s (30 t/h), în schema cu insuflare directă a prafului de cărbune.

În ultimii ani, banda de calitate a lignitului cu care este alimentată CET Oradea I a înregistrat o înrăutățire accentuată, media puterii calorifice situîndu-se în prezent în jurul valorii 7,75 MJ/kg (1850 kcal/kg), iar limita inferioară în jurul valorii 6,30 MJ/kg (1500 kcal/kg). Influența negativă a deprecierii benzii de calitate a lignitului s-a exercitat, atît prin înrăutățirea simțitoare a condițiilor de aprindere și ardere a prafului, cît și prin scăderea sarcinii cazanului ca urmare a lipsei de rezervă în ceea ce privește debitul morilor ventilator. În aceste condiții a apărut necesitatea unui consum suplimentar de păcură, atît pentru susținerea flăcării de cărbune, cît și pentru asigurarea sarcinii solicitate, în cazul utilizării unor sorturi de cărbune de calitate inferioară.

Pentru îmbunătățirea stabilității arderii prafului de lignit și eliminarea consumului de păcură necesar ca suport al flăcării s-a avut în vedere introducerea în schema de insuflare directă a concentratorului de praf. Soluția vizează restabilirea condițiilor corespunzătoare de aprindere și ardere prin creșterea temperaturii teoretice de ardere, ca urmare a îndepăr-

* Ing. Mircea Rădulescu, ing. Cristian Totolo, sing. Emil Trifa — ICEMENERG București

tării unei părți considerabile de agent de uscare și transport din amestecul bifazic primar aferent arzătorului de praf de bază. Partea din agentul de uscare și transport îndepărtată, împreună cu o mică parte din praful de cărbune este introdusă în focar separat prin așa-numitul arzător de balast, situat deasupra arzătorului de bază.

În cazul cazanului de 400 t/h, soluția de modificare a menținut încărcarea termică specifică totală a brîului de arzătoare, noul arzător încadrîndu-se în ambrazura existentă. În ceea ce privește încărcarea termică specifică a brîului de arzătoare de bază aceasta a fost aleasă pe baza experienței dobîndite la aplicarea soluției la cazanele de 165 t/h [1], de 330/370 t/h din CET Ișalnița și de 645 t/h din CTE Rovinari [3].

În această direcție trebuie optimizate două cerințe opuse, și anume : realizarea unei încărcări specifice suficient de mici, pentru evitarea zgurificării în zona arzătoarelor și realizarea distanței minime față de arzătorul de balast [4]. În această analiză a fost utilizată încărcarea termică specifică de radiație în zona arzătoarelor [4], care reflectă mai fidel fenomenele din această zonă (tabelul 1). Ținînd seama de înălțimea etajului de bază rezultată ($h = 3{,}1$ m) au fost analizate trei variante de realizare a concentratorului de cărbune praf :

— divizarea canalului de amestec bifazic primar la ieșirea dintr-un concentrator într-o treaptă ;

— prevederea a două concentratoare într-o singură treaptă, montate în paralel la ieșirea din moară ;

— prevederea unui concentrator de cărbune praf în două trepte.

În condiții de spațiu impuse, studiul privind fezabilitatea celor trei variante a indicat ca optimă varianta cu concentrator de cărbune praf în două trepte. Opțiunea pentru aplicarea acestei soluții a fost făcută avînd în vedere și rezistența gazodinamică redusă a concentratorului de praf în trepte, ceea ce afectează în mai mică măsură debitul de agent de uscare și de cărbune măcinat de moară.

Pentru realizarea sarcinii nominale a cazanului în condițiile utilizării lignitului de calitate înrăutățită s-au aplicat modificări ale morilor ventilator în scopul creșterii debitului de cărbune măcinat de acestea : creșterea diametrului exterior al rotorului, creșterea diametrului interior al rotorului corespunzător unei viteze periferice optime $u_1 = 60$ m/s, înlocuirea separatorului, îmbunătățirea admisiei cărbunelui în rotor și altele [5].

Principalele date constructive ale morii modificate, comparativ cu moara inițială, sînt date în tabelul 2.

Proiectele pentru modificarea morilor de cărbune și introducerea concentratorului de praf au fost executate de ICEMENERG.

Cercetările experimentale pentru punerea la punct a instalației modernizate de preparare și ardere a prafului de lignit în schema cu concentrator de praf în două trepte s-au realizat la cazanul nr. 5 din CET Oradea I.

1. Descrierea concentratorului centrifugal de cărbune praf în două trepte și a arzătorului aferent

Concentratorul centrifugal de cărbune praf în două trepte (fig. 1) este un dispozitiv static compus dintr-un suport aerodinamic central, pe circumferința căruia sînt amplasate radial mai multe palete de turbionare. Ansamblul este introdus coaxial într-un

Tabelul 1

Încărcările termice specifice în zona arzătoarelor la diferite cazane prevăzute cu concentratoare de cărbune praf

Mărimea	U.M.	Cazan 165 t/h CET Oradea	Cazan 330/370 t/h CET Ișalnița	Cazan 645 t/h CTE Rovinari	Cazan 400 t/h CET Oradea I	
					(1) *)	(2) *)
Încărcări termice specifice pe brîul de arzătoare :						
— de suprafață	MW/m²	1,2	2,02	1,73	1,69	1,69
— de volum	MW/m³	0,605	0,95	0,43	0,605	0,605
— de radiație	MW/m²	—	—	—	0,95	0,95
Încărcări termice specifice pe brîul de arzătoare de bază :						
— de suprafață	MW/m²	1,24	2,9	2,22	—	2,1
— de volum	MW/m³	0,627	1,34	0,556	—	0,775
— de radiație	MW/m²	—	—	—	—	1,07

*)
(1) insuflare directă fără concentrator de praf ;
(2) insuflare directă cu concentrator de praf.

Tabelul 2

Principalele modificări aduse morii MV-30 pentru creşterea capacităţii de măcinare

Mărimea	Simbol	U.M.	Moară iniţială (fără concentrator de praf)	Moară modificată (cu concentrator de praf)
Diametrul interior al rotorului	D_1	mm	1400	1550
Diametrul exterior al rotorului	D_2	m	2100	2200
Lăţimea paletei	b	m	700	700
Turaţia	n	rot/min	740	740
Viteza periferică la diametrul interior al rotorului	u_1	m/s	54,2	60,2
Viteza periferică la diametrul exterior al rotorului	u_2	m/s	81,3	85,2

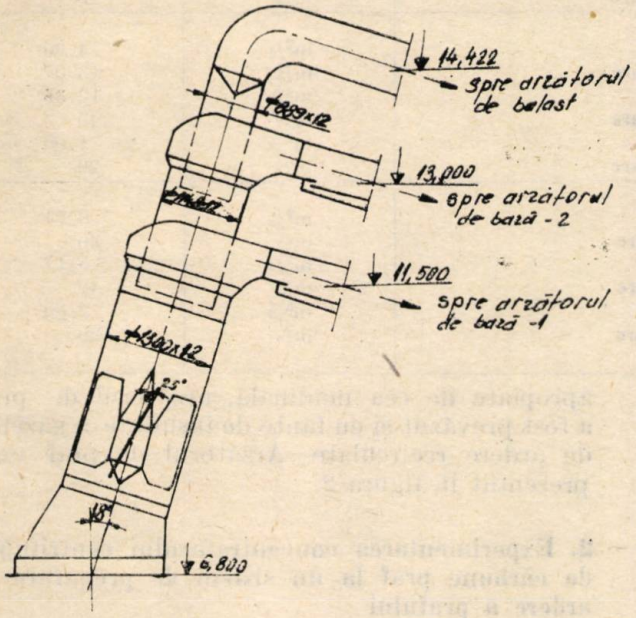


Fig. 1. Concentratorul de praf de cărbune în două trepte.

canal circular, de peretele căruia se rigidizează prin sudură.

Dispozitivul astfel realizat are rolul de a imprima o mişcare de rotaţie amestecului bifazic agent de uscare şi transport — praf de cărbune; ca urmare, în secţiunea canalului la ieşirea din concentrator, cîmpul de concentraţii ale prafului de cărbune în agentul de uscare şi transport are o variaţie descrescătoare, începînd de la periferia canalului spre centrul acestuia. Cîmpul de viteze ale agentului de uscare şi transport are o variaţie inversă cîmpului de concentraţii. Ca atare, în zona inelară periferică, amestecul bifazic are în compunere o cantitate redusă de agent de uscare şi transport şi o cantitate mare de praf de cărbune. Agentul bifazic din această secţiune este captat şi dirijat spre etajul de bază 1 al arzătorului de praf. În secţiunea inelară imediat următoare, deşi concentraţia prafului înregistrează o uşoară scădere, valoarea acesteia se situează cu mult peste media la intrarea în concentrator. Agentul bifazic din această secţiune este captat şi dirijat spre etajul de bază 2 al arzătorului de praf. Agentul bifazic din secţiunea circulară centrală, bogat în agent de uscare şi transport şi foarte sărac în praf de cărbune, este captat şi dirijat spre arzătorul de balast.

În urma cercetărilor efectuate s-a stabilit că asigurarea aprinderii şi arderii stabile în toată banda de calitate a cărbunelui care alimentează cazanul de 400 t/h se obţine prin introducerea unui concentrator centrifugal în două trepte cu următorii parametri funcţionali:

a) grad de separare pentru praf:
— pe treapta întîi de separare $g_1 = 0,4$
— pe treapta a doua de separare $g_2 = 0,4$
— pe ansamblul celor două trepte de separare $g = 0,8$

b) grad de separare pentru agentul de uscare şi transport:
— pe treapta întîi de separare $l_1 = 0,22$
— pe treapta a doua de separare $l_2 = 0,28$
— pe ansamblul celor două trepte de separare $l = 0,5$

Debitul agentului de uscare şi transport la intrarea în concentrator, rezultat din calculul de bilanţ termic al morii pentru lignitul la limita inferioară a benzii de calitate este de 16,65 m³/s. Impunînd viteza agentului la intrare în concentrator 12,5 m/s (pentru realizarea unor pierderi de presiune reduse) a rezultat diametrul conductei concentratorului $D_0 = 1,3$ m; funcţie de acesta şi avînd în vedere parametrii funcţionali impuşi, au fost determinate celelalte dimensiuni ale concentratorului. Dimensiunile principale ale concentratorului de cărbune praf în două trepte sînt prezentate în figura 1.

Concentratorul de praf prototip a fost prevăzut cu palete cu înclinare reglabilă prin acţionare din exterior, în scopul stabilirii prin experimentări a valorii convenabile a unghiului de înclinare a acestora, pentru realizarea gradelor de separare dorite.

În tabelul 3 sînt prezentate principalele date care au stat la baza calculului de dimensionare a arzătorului de praf pentru concentratorul de praf în două trepte. Pentru evitarea fenomenului de zgurificare a focarului la sarcini mari,

Tabelul 3

Principalele date care au stat la baza calculului de dimensionare a arzătorului de praf

			Mărimea	U.M.	Valoarea
			Încărcarea termică specifică de volum a focarului	kW/m³	133
			Încărcarea termică specifică de secțiune a focarului	MW/m²	3,04
			Încărcarea termică specifică a volumului zonei arzătoarelor	kW/m³	605
			Încărcarea termică specifică a suprafeței brîului de arzătoare	MW/m²	1,69
			Distanța între arzătoarele de bază și cel de balast	m	2,52
Arzător de bază	Etaj 1		Amestec primar — debit (la 104°C)	m³/s	3,85
			— viteză de insuflare	m/s	10,27
			Aer secundar — debit (la 265°C)	m²/s	13,27
			— viteză de insuflare	m/s	40
			Gaze recirculate de la evacuare cazan — debit (la 140°C)	m³/s	1,00
			— viteză de insuflare	m/s	20
	Etaj 2		Amestec primar — debit (la 104°C)	m³/s	4,90
			— viteză de insuflare	m/s	13,07
			Aer secundar — debit (la 265°C)	m³/s	12,36
			— viteză de insuflare	m/s	40
			Gaze recirculate de la evacuare cazan — debit (la 140°C)	m³/s	1,00
			— viteză de insuflare	m/s	20
Arzător de balast			Amestec primar — debit (la 104°C)	m³/s	8,75
			— viteză de insuflare	m/s	20
			Aer secundar — debit (la 265°C)	m³/s	5,17
			— viteză de insuflare	m/s	40
			Gaze recirculate de la evacuare cazan — debit (la 140°C)	m³/s	2,00
			— viteză de insuflare	m/s	20

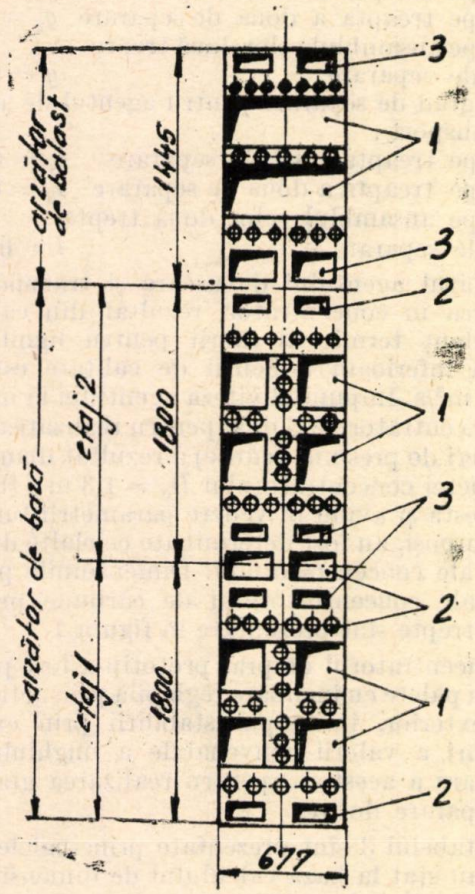


Fig. 2. Arzătorul de praf de cărbune pentru concentratorul de praf în două trepte : 1 — amestec primar ; 2 — aer secundar ; 3 — gaze de ardere recirculate.

apropiate de cea nominală, arzătorul de praf a fost prevăzut și cu fante de insuflare a gazelor de ardere recirculate. Arzătorul de praf este prezentat în figura 2.

2. Experimentarea concentratorului centrifugal de cărbune praf la un sistem de preparare și ardere a prafului

Soluția a fost aplicată mai întîi cu titlu experimental la un singur sistem de preparare și ardere a prafului din dotarea cazanului de 400 t/h.

Asupra sistemului de preparare și ardere modificat a fost efectuată o serie de probe și experimentări care au urmărit :

— verificarea capacității de măcinare a morii ;

— verificarea capacității de ventilație a morii ;

— verificarea gradului de separare a prafului de cărbune pe cele două trepte de separare (g_1, g_2, respectiv g) ;

— verificarea gradului de separare pe partea de agent de uscare și transport pe cele două trepte de separare (l_1, l_2, respectiv l).

Experimentările s-au făcut cu lignit din bazinul Transilvania-vest și Oltenia-nord.

Rezultatele experimentărilor au scos în evidență următoarele :

a) Moara de cărbune modificată și echipată cu concentrator de praf în două trepte are o capacitate de măcinare și de ventilație satisfăcătoare. Astfel, măsurătorile au arătat că moara modificată realizează, în starea medie de uzură, un debit de cărbune măcinat de 29 t/h, ceea c,e

înseamnă o creștere de circa 16% față de moara inițială. Finețea de măcinare s-a îmbunătățit de asemenea, fiind caracterizată prin R_{1000} = = 1,8—2%, R_{90} = 42,5—55%.

Prin măsurători au fost determinate debite de agent de uscare și transport între 16,5—17,6 m³/s. Măsurătorile și calculele efectuate au pus în evidență influența hotărîtoare a infiltrațiilor de aer fals în sistemul de preparare asupra capacității de uscare și măcinare a morii (fig. 3) și disponibilitățile care pot fi puse în continuare în valoare printr-o etanșare corespunzătoare.

b) Gradele de separare a prafului de cărbune pe cele două trepte ale concentratorului au fost determinate prin măsurători ale debitelor de praf la intrarea în concentrator și în secțiunile canalelor de legătură spre etajele de bază 1 și bază 2 ale arzătorului. Măsurătorile au evidențiat valori ale gradelor de separare a prafului de $g_1 = 0{,}51$, respectiv $g_2 = 0{,}45$, superioare celor avute în vedere la calculul de dimensionare ($g_1 = g_2 = 0{,}4$).

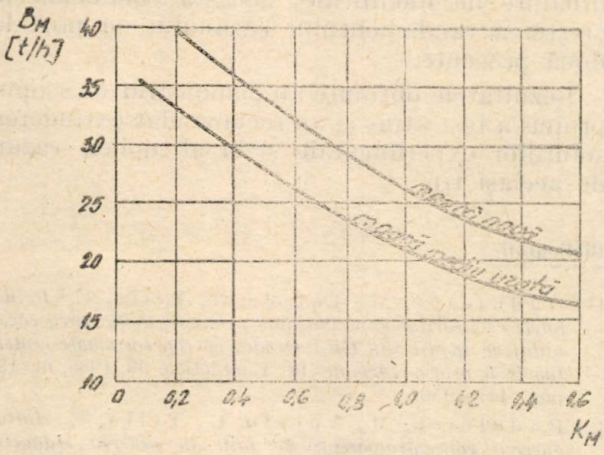


Fig. 3 Variația debitului de cărbune măcinat de moara MV-30 funcție de coeficientul de infiltrație de aer fals.

c) Gradele de separare a agentului de uscare și transport au fost determinate prin măsurători asupra cîmpurilor de viteze în secțiunea canalului la intrarea în concentrator și în secțiunile canalelor de legătură spre cele trei etaje componente ale arzătorului. În urma măsurătorilor au fost determinate grade de separare de $l_1 = 0{,}29$, respectiv $l_2 = 0{,}35$, de asemenea superioare celor avute în vedere la calculul de dimensionare ($l_1 = 0{,}22$ și $l_2 = 0{,}28$).

Deși gradele de separare pe cele două componente ale agentului bifazic depășesc valorile avute în vedere la calculul de dimensionare, valoarea criteriului l/g, criteriu pe baza căruia se apreciază efectul de creștere a temperaturii în flacără în zona arzătorului de bază, este apropiată de valoarea luată în considerare la calculul de dimensionare ($l/g = 0{,}666$ față de valoarea de calcul $l/g = 0{,}625$).

Performanțele realizate au recomandat executarea modificărilor morilor și introducerea concentratoarelor de praf în două trepte la toate sistemele de preparare și ardere ale cazanului. Concentratoarele de praf au fost executate cu palete fixe, cu unghi de înclinare la valoarea convenabilă de 25°, stabilită cu ocazia experimentărilor.

3. Funcționarea cazanului cu sistemele de preparare și ardere a prafului echipate cu concentratoare centrifugale în două trepte

După generalizarea soluției la toate sistemele de preparare și ardere aferente cazanului de 400 t/h, a fost efectuată o nouă serie de probe și experimentări, care au urmărit:

— verificarea stabilității arderii;

— verificarea pierderilor prin nearse mecanice;

— verificarea apariției fenomenului de zgurificare a focarului.

Principalele date care au fost obținute la probele de funcționare a cazanului numai pe lignit, fără adaos de păcură pentru susținerea arderii, la sarcini reduse, sînt prezentate în tabelul 4.

Rezultatele probelor și experimentărilor au pus în evidență următoarele:

a) Sarcina minimă a cazanului la care s-a realizat o ardere stabilă, fără foc de susținere de păcură, a fost 55—60% la utilizarea unor ligniți cu puterea calorifică inferioară de 6,8 — 7,29 MJ/kg (1650—1740 kcal/kg).

b) Pierderile prin ardere incompletă din punct de vedere mecanic au avut valori între 1,05—2,12% în toată gama de sarcini, mult mai mici față de cele realizate înainte de modernizarea cazanului de 2,2—4,0%.

c) Datorită îmbunătățirii condițiilor de aprindere și ardere a prafului de lignit, temperaturile în focar au crescut. Ca urmare, la sarcini ale cazanului apropiate de cea nominală, temperaturile în zona brîului de arzătoare ating valori care conduc la apariția fenomenului de zgurificare a focarului. Experimentările au condus la constatarea că fenomenul de zgurificare apare în jurul sarcinii de 80%, iar la sarcini de 84—85% atinge proporții semnificative.

Ca parametru orientativ pentru urmărirea apariției fenomenului de zgurificare în exploatarea curentă a cazanului a fost stabilită temperatura gazelor de ardere după supraîncălzitorul paravan, care se măsoară în camera de comandă termică.

Din experimentările efectuate a rezultat că apariția fenomenului de zgurificare corespunde unor valori ale acestei temperaturi de 680—700°C; la depășirea limitei de 680°C este necesar a fi pusă în funcțiune instalația de recirculare

Tabelul 4

Principalele date de funcționare a cazanului la sarcini reduse fără adaos de păcură pentru susținerea arderii

Mărimea	U.M.	Sarcina termică	
		55%	60%
Debitul de abur viu	kg/s	55,5	66,7
	(t/h)	(200)	(240)
Presiunea aburului viu	bar	133	134
Temperatura aburului viu	°C	544	544
Temperatura apei de alimentare	°C	206	220
Caracteristicile lignitului			
— puterea calorifică inferioară, Q_i^i	MJ/kg	7,29	6,89
	(kcal/kg)	(1740)	(1650)
— conținutul de umiditate, W_t^i	%	38,29	37,83
— conținutul de cenușă, A^i	%	27,07	29,14
Excesul de aer de ardere înainte de preîncălzitoarele de aer	—	1,53	1,51
Conținutul de nearse în zgură	%	13,46	12,48
Conținutul de nearse în cenușă	%	0,49	0,63
Pierderea de căldură prin ardere mecanic incompletă	%	1,88	2,12
Temperatura medie măsurată în focar în zona arzătoarelor de bază	°C	1065	1150

a gazelor de ardere reci, de la evacuarea din cazan, care sînt insuflate în fantele special prevăzute ale arzătoarelor de praf.

d) Creșterea temperaturii în focar în zona arzătoarelor a condus la creșterea cantității de căldură transmisă prin radiație și scăderea cantității de căldură transmisă în partea de convecție a cazanului. Cu toate acestea, în domeniul de sarcini pînă la 55%, temperatura aburului viu a avut valori apropiate de temperatura nominală de 540°C.

Concluzii

Un cazan de abur de 400 t/h din CET Oradea I a fost echipat cu concentratoare de cărbune praf în două trepte ai căror parametri determinați prin măsurători sînt $g_1 = 0{,}51$, $g_2 = 0{,}45$, respectiv $l_1 = 0{,}29$, $l_2 = 0{,}35$, rezultînd o valoare a criteriului $l/g = 0{,}666$ față de valoarea de calcul $l/g = 0{,}625$. În acest fel se asigură o stabilitate corespunzătoare a flăcării prafului de lignit, fără foc de susținere cu păcură, la sarcini ale cazanului de pînă la 55—60%.

În același timp cu introducerea concentratoarelor de praf au fost modificate și morile de cărbune, care au realizat un debit de lignit măcinat în stare medie de uzură de 29 t/h, ceea ce înseamnă o creștere de circa 16% față de moara inițială.

Ca urmare a modernizării instalației de măcinare și ardere a prafului de lignit s-a obținut o reducere a pierderilor prin ardere incompletă din punct de vedere mecanic față de situația dinainte de modificare, aceasta conducînd la creșterea randamentului cazanului cu pînă la două procente.

Rezultatele obținute au demonstrat că scopul propus a fost atins și au recomandat extinderea soluțiilor experimentale și la al doilea cazan de același tip.

Bibliografie

[1] Rădulescu, M., Totolo, C., Trifa, E. *Rezultatele cercetărilor experimentale privind funcționarea cazanului de 165 t/h din CET Oradea cu concentratoare centrifugale de praf de cărbune.* În: Energetica, 33, 1985, nr. 12, pag. 447—450.

[2] Rădulescu, M., Totolo, C., Trifa, E. *Introducerea concentratoarelor de praf în vederea reducerii consumului de hidrocaburi.* În: Lucrări tehnico-științifice ICEMENERG, 1988, pag. 17—21.

[3] Rădulescu, M. *Direcții de cercetare și rezultate obținute privind perfecționarea tehnologiilor de ardere a lignitului și reducerea consumului de hidrocarburi suport de flacără la cazanele cu funcționare pe lignit din centrale electrice din R.S.R.* În: Energetica, 33, 1985, nr. 12, pag. 547—553.

[4] Maslov, V. E. *Pilekonțentratori v topocinoi tehnike.* Moskva, Energhia, 1977.

[5] Rădulescu, M. *Rezultatele cercetărilor experimentale privind reconstrucția morilor ventilator și morilor ventilator cu ciocane la cazanele cu funcționare pe lignit din centralele electrice din R.S.R.* În: Energetica, 35, 1987, nr. 5, pag. 204—213.

(Primit la 11 iulie 1989, acceptat la 27 iulie 1989)

Considerații asupra poluării mediului acvatic cu deșeuri lichide radioactive deversate din centralele nuclearoelectrice

Ing. TRAIAN MAUNA, biolog ANDRIEȘICA MAUNA*

Descriptori : CNE, protecția calității apelor, deșeuri radioactive lichide

CZ : 621.311.25 : 621.039 : 628.52

În cadrul lucrării se prezintă unele aspecte privind circulația prin mediul acvatic a radionuclizilor deversați odată cu apele reziduale de la CNE în funcționare normală. Comentariile se axează pe evacuarea apelor cu activitate foarte slabă de la CNE echipate cu reactoare de tip CANDU-700 MWe, cu unele exemplificări ale circulației radionuclizilor în apele continentale din vecinătatea CNE.

The paper deals with some aspects connected to the circulation in acquatic media of radioactive nuclids disposed by residual waters during the normal operation of nuclear power plants. The comments refer to disposal of water with very weak radioactive activity from 700 MWe nuclear power plants equipped with CANDU reactors. Some examples for the radioactive nuclids circulation inside continental waters in the vicinity of nuclear power plants are given.

1. Impactul centralei nuclearoelectrice asupra mediului înconjurător

Ca orice altă activitate umană, prezența unei centrale nuclearoelectrice (CNE) influențează mediul înconjurător începînd cu deschiderea șantierului, continuînd cu funcționarea normală și chiar după încheierea ciclului de viață.

Desigur că modul de influențare a mediului diferă în funcție de stadiu, de tipul de centrală și o altă serie întreagă de factori. Deși în măsură mai mică decît alte tipuri de industrii, CNE în funcționare normală evacuează în mediul înconjurător substanțe poluante care conțin și elemente radioactive; cantitatea și tipul de elemente radioactive evacuate în mediu depind de tipul de reactor și de sistemele de protecție adoptate pentru fiecare centrală nucleară. Accidentul nuclear din 1979 de la CNE Three Mile Island din S.U.A. și mai ales recentul accident nuclear din 1986 de la CNE Cernobîl din U.R.S.S. au stimulat interesul opiniei publice asupra problemelor legate de evacuările de produse radioactive din CNE și impactul acestora asupra mediului și a populației.

Este cunoscut faptul că, în paralel cu dezvoltarea programelor naționale de energetică nucleară, în toate țările au existat preocupări pentru realizarea unor sisteme care să micșoreze evacuările de produse radioactive în mediul înconjurător. Totodată au fost dezvoltate metode și tehnici pentru urmărirea sistematică a consecințelor evacuărilor de produse radioactive asupra mediului înconjurător, pe termen scurt și pe durată mare, prin măsurarea concentrațiilor de radionuclizi în teren, în apă, în aer și în materia vie.

Și în țara noastră au fost adoptate norme republicane pentru protecția populației și a mediului înconjurător care limitează concentrațiile de radionuclizi, norme care sînt mai restrictive decît în alte țări, și sînt organizate rețele de supraveghere a mediului înconjurător în a căror sferă de activitate intră și detectarea concentrațiilor de radionuclizi.

Evaluarea impactului CNE asupra mediului înconjurător se descrie în documentațiile de securitate nucleară și în alte tipuri de documentații pentru obținerea acordurilor și avizelor necesare amplasării, execuției și exploatării CNE, întocmite conform legislației și normelor repulicane aprobate de forurile în drept.

Agenția Internațională pentru Energie Atomică a elaborat o serie de recomandări privind această problematică. Sub egida acestei agenții sînt organizate simpozioane internaționale pentru a face cunoscute rezultatele cercetărilor diferitelor organizații internaționale, naționale, laboratoare și institute de cercetări etc.

Impactul evacuărilor radioactive de la un anumit tip de CNE asupra mediului este dependent de amplasament, respectiv de condițiile meteorologice, de prezența unui emisar care să asigure o diluție corespunzătoare, de categoriile de biotropi din vecinătate etc.

* Ing. Traian Mauna — Institutul de Studii și Proiectări Energetice București, biolog Andrieșica Mauna — profesor Școala Generală nr. 199, București

2. Cîteva probleme privind gestionarea deșeurilor lichide radioactive

O centrală nuclearoelectrică echipată cu reactoarele de tip CANDU de 2 180 MWt, respectiv circa 700 MWe, folosește apa grea drept moderator și agent de răcire a combustibilului nuclear. În timpul funcționării centralei, apa grea se tritiază, concentrația de tritiu ajungînd la echilibru la circa 12 ani de la punerea în funcțiune.

Din sistemele ce vehiculează apa grea și din alte sisteme auxiliare nucleare apar scurgeri de deșeuri lichide radioactive, care sînt colectate diferențiat, funcție de nivelul de activitate.

Deșeurile puternic active și mediu active trebuie colectate, concentrate și îmbetonate într-o stație de tratare a deșeurilor lichide radioactive, după care se depozitează într-un spațiu special destinat. Deșeurile lichide de activitate slabă și foarte slabă colectate în rezervoare cu o capacitate de peste două ori mai mare decît debitul mediu zilnic, după monitorare se pot evacua în emisar, dacă prin diluție se asigură o concentrație sub limitele prevăzute de norme.

În cazul amplasării unei CNE în apropierea unui fluviu din care se poate preleva apa necesară pentru răcirea în circuit deschis, debitul de apă de răcire de circa 54 m^3/s vehiculat pentru fiecare unitate permite un grad de diluție suficient, astfel că se asigură o concentrație a radionuclizilor în apă cu circa un ordin de mărime sub prevederile normelor.

În cazul amplasării CNE pe rîurile al cărui debit nu permite răcirea în circuit deschis, purja sistemului de răcire în circuit închis nu asigură un grad de diluție suficient, astfel că lichidele radioactive cu activitate medie de 10^{-2} Ci/m^3 și activitatea tritiului de 3 : $4Ci/m^3$ (circa 1,5 m^3/zi) trebuie tratate, concentrate și depozitate.

Pentru celelalte categorii de lichide radioactive, care totalizează circa 1100 m^3/lună, se pot realiza rezervoare de stocaj pentru medierea activității și pentru reducerea activității radionuclizilor cu timp de înjumătățire mic.

În tabelul 1 se prezintă, ca exemplificare, caracteristicile radionuclizilor din deșeurile radioactive lichide ce se pot deversa în mediu în timpul funcționării normale a unei unități CNE echipată cu reactoare CANDU de 2180 MWt. Compoziția izotopică din coloana 2 cu ponderea din coloana 3 corespunde unei medieri pe durată scurtă. În coloana 7 din tabel sînt date concentrațiile maxime admisibile din apă pentru organismul uman sau pentru un organ vital (cele mai restrictive din normele republicane de securitate nucleară).

3. Unele comentarii privind încadrarea în prevederile normelor

Pe exemplul considerat de activitate medie la ieșirea din instalațiile CNE în funcționare normală se constată la unii radionuclizi o depășire a limitelor stabilite de normele republicane de radioprotecție, iar la alți radionuclizi concentrații mult mai mici decît aceste limite (tabel 1, col. 4). Normele precizează că radionuclizii pot fi considerați absenți din mediul acvatic dacă sînt satisfăcute relațiile :

$$\frac{C_j}{(CMA)_j} \leqslant \frac{1}{10} \quad (1)$$

în cazul prezenței în mediu a unui singur radionuclid sau

Tabelul 1

Caracteristicile radionuclizilor din deșeurile lichide cu activitate slabă de la CNE echipate cu reactoare CANDU 2180 MWt (700 MWe)

Radionuclid	Pondere medie [%]	T 1/2	Activitate Ci/m^3*			CMA NRSN Ci/m^3	Distribuție în biocicluri acvatice
			la ieșirea din CNE	după diluție cu : 1 m^3/s	după diluție cu : 50 m^3/s		
1	2	3	4	5	6	7	8
Iod I_{53}^{131}	60	8,06z	$6 \cdot 10^{-6}$	$1,4 \cdot 10^{-8}$	$2,8 \cdot 10^{-10}$	$3 \cdot 10^{-7}$	echitrop
Cesiu $Cs_{55}^{137}/Cs_{55}^{134}$	20	30a/2,07a	$2 \cdot 10^{-6}$	$4,5 \cdot 10^{-9}$	$9,2 \cdot 10^{-11}$	$2 \cdot 10^{-5}$	pedotrop
Ceriu Ce_{58}^{144}	5	284z	$5 \cdot 10^{-7}$	$1,1 \cdot 10^{-9}$	$2,2 \cdot 10^{-11}$	$1 \cdot 10^{-5}$	biotrop
Metale $Cr_{24}^{51}/Mo_{42}^{99}/Co_{27}^{60}$	14	28z/67h/5a	$14 \cdot 10^{-7}$	$3,2 \cdot 10^{-9}$	$6,4 \cdot 10^{-11}$	$2 \cdot 10^{-5}$	hidrotrop
Stronțiu Sr_{38}^{90}	1	28,4a	$1 \cdot 10^{-7}$	$2,3 \cdot 10^{-10}$	$4,6 \cdot 10^{-12}$	$3 \cdot 10^{-7}$	echitrop
Tritiu H_1^3	—	12,26a	$5 \cdot 10^{-2}$	$1,1 \cdot 10^{-4}$	$2,2 \cdot 10^{-6}$	$3 \cdot 10^{-3}$	echitrop

S-a notat :
* $1Ci = 3,7 \times 10^{10}$ $B_q = 3,7 \times 10^{10}$ s^{-1}
T 1/2 = timp de înjumătățire
a = ani, z = zile, h = ore

CMA — conform NRSN — NRR, 1976, anexa II, col 9, valoarea minimă a concentrației maxime admise pentru persoane.

$$\sum_{j=1}^{m} \frac{C_j}{(CMA)_j} \leq \frac{1}{4} \quad (2)$$

în cazul prezenței în mediu a mai multor radionuclizi,

unde C_j reprezintă concentrația unui radionuclid, iar $(CMA)_j$ reprezintă concentrația maximă admisă pentru radionuclidul respectiv.

Aplicarea formulei (2) radionuclizilor de Cs, Ce, Cr, Mo și Co, cu activitatea din tabelul 1, col. 4, duce la concluzia că aceștia ar putea fi considerați absenți din mediul acvatic.

Activitatea tuturor radionuclizilor după o diluție cu apă de 1 m^3/s este cu mult mai mult de un ordin de mărime sub limitele din coloana7. De asemenea este satisfăcută și relația (2).

$$\sum_{j=1}^{6} \frac{C_j}{(CMA)_j} \simeq \frac{1}{12} < \frac{1}{4}.$$

Aplicarea relației (2) pentru cazul diluției în rîu cu un debit mediu de 50 m^3/s, valoare apropiată de debitul mediu al principalelor rîuri din țara noastră, cum este, de exemplu, Oltul în secțiunea Făgăraș, duce practic la o valoare a activității totale cu peste două ordine de mărime sub prevederile normelor (tabel 1, col. 6).

Prin urmare nu există nici un motiv să ne temem de o contaminare radioactivă, provenită din deversările lichide ale CNE.

4. Circulația radionuclizilor în mediul acvatic

Chiar cu respectarea prevederilor normelor, care asigură că mediul nu va fi puternic afectat, există influențe uneori semnificative ale deversărilor de lichide radioactive asupra mediului acvatic. Aceste influențe trebuie analizate cu multă atenție, mai ales dacă în zonă sînt, chiar și temporar, specii de plante și/sau animale rare, unice, declarate monumente ale naturii și ocrotite prin lege.

Pe de altă parte, unii radionuclizi evacuați în mediul acvatic au un timp de înjumătățire de ordinul anilor și se pot acumula în mediu în cantități semnificative.

O schemă simplificată privind principalele căi de contaminare radioactivă a mediului și influența degajărilor radioactive asupra omului este redată în figura 1. Există un schimb permanent de radionuclizi între mediul acvatic, sol și aer, circulația radionuclizilor avînd ca principal agent de transport apa.

Elementele radioactive pătrund în organismele vii prin procese de absorbție pe suprafața biologică (tegumente, branhii, membrane celulare) sau prin ingestie de apă sau hrană contaminată.

Dintre radionuclizii deversați în mediul acvatic, I-131 și H-3 sînt izotopi ai unor elemente de bază din constituția materiei vii, așa că ei se pot fixa în materia vie în locul elementelor neradioactive. Aceste elemente au concentrația cea mai mare în deșeurile lichide. H-3 apare la începutul funcționării centralei într-o cantitate foarte mică și crește progresiv, ajungînd la maximum în circa 12 ani.

Radionuclizii de cesiu (Cs-137 și Cs-134) și de stronțiu (Sr-90) ce formează circa 25% din concentrația de radionuclizi conținuți în deșeurile lichide deversate sînt cu proprietăți fizico-chimice și biologice asemănătoare sodiului și potasiului, respectiv calciului, care sînt, de asemenea, elemente de bază din constituția materiei vii.

Prin urmare, elementele radioactive respective pot fi asimilate de organismele vii în locul constituenților de bază similari. Ele au o influență mare asupra organismelor vii, deoarece avînd timpi de înjumătățire de ordinul zecilor de ani, deci mai mare decît durata medie de viață a multor viețuitoare acvatice, se pot acumula în corpul acestora.

Celelalte elemente din tabelul 1, a căror pondere este de circa 20%, avînd timpi de înjumătățire mici, influențează în mai mică măsură mediul acvatic.

Distribuția radionuclizilor în biociclurile apelor continentale se realizează prin migrație

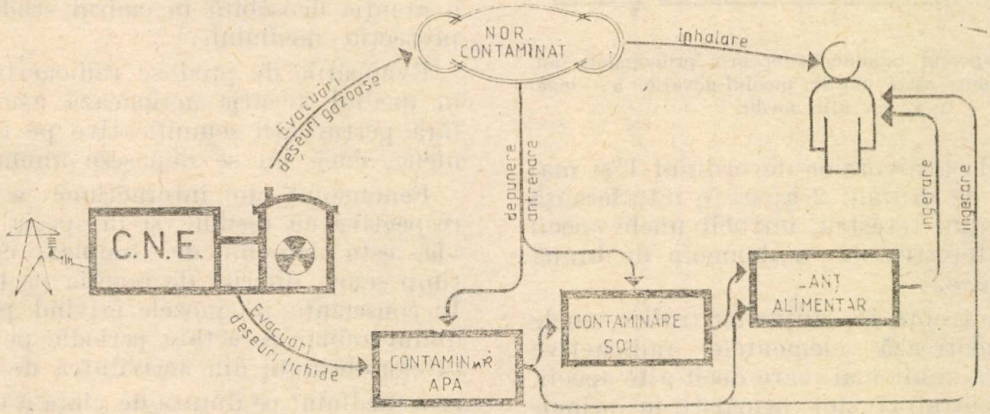


Fig. 1. Principalele căi de contaminare radioactivă din evacuările de la CNE.

biogeochimică în substanţa vie. Din punctul de vedere al concentraţiilor realizate în mediul acvatic, radioizotopii se pot împărţi în patru categorii : hidrotropi, pedotropi, biotropi şi echitropi.

Pentru radionuclizii evacuaţi cu deşeurile lichide radioactive din CNE, distribuţia în biociclurile acvatice este redată în tabelul 1, col. 8.

5. Concentrarea radionuclizilor în materia vie din mediul acvatic

În general, în apele continentale, deversările de deşeuri radioactive lichide duc la o primă concentrare a acestora în stratul superior de apă, în special în macrofite.

Pentru ecosistemele acvatice, circulaţia radionuclizilor pe lanţurile trofice principale ce duc către om este redată schematic în figura 2, punîndu-se în evidenţă prin relaţia producător-consumator.

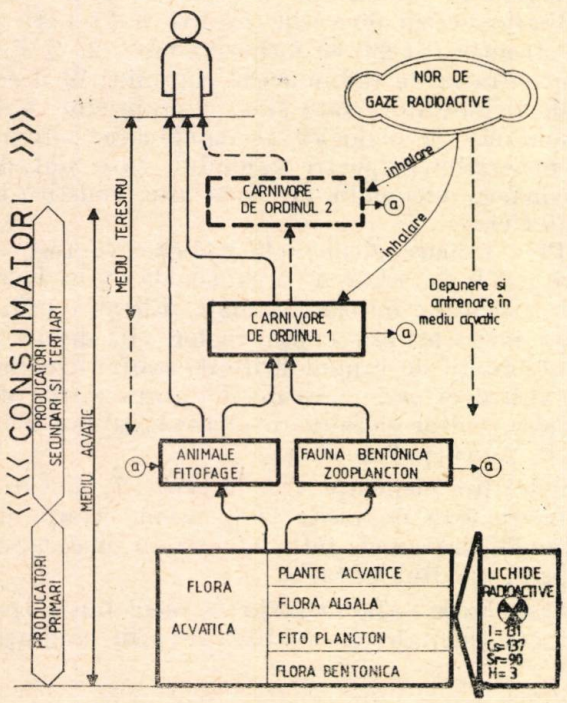


Fig. 2. Transportul radionuclizilor prin principalele lanţuri trofice deschise către om din mediul acvatic : a → legătura cu alte medii.

La nivelul carnivorelor de ordinul 1 şi mai ales la cele de ordinul 2 apare o interferenţă mare cu mediul terestru, întrucît unele specii cu habitat terestru au ca domeniu de hrană mediul acvatic.

Pe diferite trepte ale lanţurilor trofice, unele specii concentrează elementele radioactive într-o măsură mult mai mare decît alte specii. Aceşti concentratori sînt urmăriţi, în principal, de laboratoarele de protecţie a mediului, întrucît oferă posibilităţi mai mari de apreciere a modificărilor induse în mediu de deversările radioactive. Evaluarea cantitativă se face prin factorul de concentrare K după relaţia :

$$K = \frac{C_{sv}}{C_a}, \qquad (3)$$

unde :

C_{sv} este concentraţia de radionuclizi în substanţa vie ;

C_a — concentraţia de radionuclizi în apă.

Factorul de concentrare K este funcţie de tipul de radionuclid, de concentraţia acestuia în mediu, de specie, de vîrsta indivizilor, de caracteristicile fizico-chimice ale mediului acvatic etc. Concentratori se consideră speciile la care $K > 3\ \sigma^2$, unde σ este abaterea standard. Un exemplu de concentratori în apele continentale sînt moluştele (anodonta cygnea, unio pictorum). Cesiul este concentrat de zoofage.

Concentraţia radionuclizilor din mediul viu depinde de timpul de înjumătăţire efectiv al radionuclidului în materia vie, care este funcţie atît de timpul de înjumătăţire fizic (tabelul 1, col. 3), cît şi de timpul de înjumătăţire biologic, dat de metabolizarea elementelor în cauză.

Timpul de înjumătăţire efectiv este, în general, mai redus decît timpul de înjumătăţire fizic de circa trei ori.

Mediul viu acţionează diferenţiat asupra circulaţiei diferiţilor radionuclizi, după cum şi radionuclizii acţionează diferenţiat asupra diferitelor specii, iar în interiorul organismului viu, în mod diferit asupra organelor interne, care pot concentra selectiv radionuclizii. Dintre animalele acvatice, peştii pot concentra pînă la de circa 10 ori unii radionuclizi din mediul acvatic, uneori mai mult, în funcţie de vîrstă şi specie.

Deoarece peştii reprezintă o componentă principală a hranei populaţiei, este evident că laboratoarele de radioprotecţie ale CNE le acordă o atenţie deosebită în cadrul studiilor privind protecţia mediului.

Evacuările de produse radioactive din CNE în mediul acvatic acţionează asupra biosului fără perturbaţii semnificative pe treptele eltoniene, dacă nu se depăşesc anumite praguri.

Fenomenul de interacţiune a evacuărilor respective cu mediul, şi în special cu materia vie, este deosebit de complex, cu reacţii în timp scurt, diferite de reacţia pe termen lung. În consecinţă, prognozele privind protecţia mediului trebuie corectate periodic pe baza rezultatelor obţinute din activitatea de supraveghere a mediului pe durata de viaţă a CNE şi chiar după scoaterea ei din funcţiune.

Bibliografie

[1] *Biological aspects of radiation protection.* Proceedings of the International Symposium, Kyoto oct. 1969.
[2] Macarthur. R. şi Connell, J. *Biologia populaţiilor.* Editura Ştiinţifică, Bucureşti 1970.
[3] Stugren, B. *Ecologie generală.* Editura Didactică şi Pedagogică, Bucureşti 1975.
[4] Zarnowiecki, K. *Influenţa CNE asupra mediului înconjurător.* În: Energetyka, R.S.C., nr. 12/1979.
[5] Lungu, Tr. ş.a. *Biologie şi ecologie animală.* Editura Didactică şi Pedagogică, Bucureşti 1981.
[6] Stugren, B. şi colab. *Probleme moderne de ecologie.* Editura Ştiinţifică şi Enciclopedică, Bucureşti 1982.
[7] Stugren, B. *Bazele ecologiei generale.* Editura Ştiinţifică şi Enciclopedică, Bucureşti, 1982.
[8] Gherzmanschy, G. *Probleme ecologice în dezvoltarea energiei nucleare.* În: Atomnaia energhia, U.R.S.S., nr. 6/1980.
[9] Lakomova O. V. *Analiza comparativă a influenţei centralelor atomoelectrice şi termoelectrice asupra mediului înconjurător.* Dostijeniia i perspectivi privodnie resursi o okrujainsciia sreda, URSS, nr. 13/1985.
[10] * * * *Planning for Off-Site Response to Radiation Accidents in Nuclear Facilities.* IAEA, Safety series No. 55, Vienna — 1981.
[11] * * * *Nuclear Power Plant Siting — Hydrological aspects.* IAEA, Vienna — SG — S — 7.
[12] * * * *Preparation of environmental reports for NPS* US NRC — R.G. 4.2.
[13] * * * *Environmental standard Review Plans for the environmental review of construction permit application for NPP.* USNRC
[14] * * * *Measurements of radionuclides in the environment.* USAEC — R.G. 4.5; R.G. 4.6.
[15] * * * N.R.S.N. *Norme republicane de radioprotecţie,* aprobate cu ordinul CSEN, MS şi CNA Nr. 122/133/26 din 1976.

(Primit la 7 martie 1989, acceptat la 20 aprilie 1989)

NOUTĂŢI

Din energetica mondială

ACTIVITATEA DE CERCETARE ŞI VERIFICARE LA CESI (CENTRO ELETTROTECNICO SPERIMENTALE ITALIANO)

Încercări la poluare artificială asupra întrerupătorului de 420 kV

În cadrul activităţii de cercetare s-au efectuat probe în scopul verificării rezistenţei izolaţiei (atît la pămînt, cît şi longitudinală) în condiţii de contaminare artificială (metoda ceţii sărate) a unui întrerupător de înaltă tensiune, pentru sistemele de 420 kV în curent alternativ.

Izolaţia longitudinală, în special, a fost verificată cu impulsuri de tensiune prevăzute să simuleze cele trei condiţii tipice de funcţionare, şi anume:

1 — întrerupător şi transformator de linie;

2 — întrerupător de generator;

3 — întrerupător pentru baterie de condensator, cablu şi linie la mers în gol.

Aceste condiţii au fost simulate folosindu-se trei circuite diferite de alimentare cu energie electrică.

În primul caz, încercările s-au efectuat cu tensiune alternativă aplicată la un terminal al întrerupătorului, iar celălalt conectat la pămînt. Tensiunea maximă aplicată a fost de $U_m/\sqrt{3}$.

În cel de al doilea caz, probele au fost efectuate prin aplicarea unor tensiuni alternative cu modul egal, decalate cu 180° la cele două terminale ale întrerupătorului. Tensiunea maximă a fost de $2U_m/\sqrt{3}$.

În cel de al treilea caz tensiunea alternativă s-a aplicat la un terminal, iar tensiunea în curent continuu de polaritate negativă s-a aplicat la celălalt. Tensiunea totală a fost egală sau mai mare ca $V = \sqrt{2} \cdot \frac{U_m}{\sqrt{3}} \cdot \sin \omega t + \left(-\sqrt{2} \cdot \frac{U_m}{\sqrt{3}}\right)$.

Probele cu tensiune în curent alternativ fază-pămînt şi cele cu tensiune în curent alternativ fază-fază au fost efectuate în conformitate cu prescripţiile descrise în Publicaţia IEC 507 (1975).

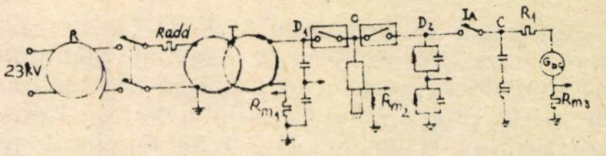


Fig. 1. Circuit de alimentare pentru realizarea probelor cu tensiune combinată: R — regulator de tensiune; Radd — rezistenţă de protecţie; T — transformator 3/350kV — 0,7MVA; R_{m1}, R_{m2}, R_{m3} — rezistenţe de măsurare; D_1 — potenţiometru la condensator; O — obiectul testat; D_2 — divizor de rezistenţe la condensator; IA — întrerupător auxiliar; C — grup de condensatoare de 100 nF; R_1 — rezistenţă de protecţie; G_{DC} — generator de curent continuu 700 kV — 1 A.

Pentru probele efectuate cu tensiune alternativă continuă a fost prevăzut un circuit de alimentare cu energie electrică (fig. 1), care să satisfacă condiţiile nonstandard de verificare. În timpul ciclului de probe întrerupătorul, în poziţie închisă, a fost alimentat cu tensiune alternativă $U_m/\sqrt{3}$ pentru a pune în evidenţă izolaţia la pămînt. La anumite intervale s-a suprimat tensiunea şi întrerupătorul s-a deschis foarte repede, iar tensiunile în curent alternativ şi în curent continuu au fost aplicate simultan la cele două capete pînă la apariţia descărcării disruptive sau în cazul opunerii unei rezistenţe timp de cinci secunde. Ciclul de mai sus a fost repetat la intervale de cinci minute pe o perioadă maximă de 60 minute.

Cercetarea a fost efectuată pentru ENEL DSR.

(După: CESINEWS, nr. 2/1988)

Cercetări experimentale pe agregatul aeroelectric de laborator de la Institutul Politehnic din Timişoara

Acad. prof. dr. doc. ing. IOAN ANTON, prof. dr. ing. FRANCISC GYULAI, prof. dr. ing. IOSIF PREDA, ing. CORNEL ALBU, ing. LAZĂR BROŞTEAN, ing. EMILIAN SUCIU, as. ing. IONEL BACIU*

Descriptori : centrale aeroelectrice

Lucrarea se referă la agregatul aeroelectric de laborator cu putere instalată de 30 kW şi diametrul rotorului turbinei de 10 m, conceput şi realizat la Institutul Politehnic din Timişoara pentru testarea componentelor sistemului de conversie a energiei vîntului în energie electrică. El serveşte şi la testarea paletajelor model ale turbinei de vînt cu ax orizontal.

Se prezintă experienţa exploatării acestui agregat timp de mai mulţi ani, cu o analiză critică a eficienţei diferitelor soluţii constructive ale componentelor utilizate pe parcurs.

Se prezintă metodologia încercării turbinei care a fost dotată în acest scop cu aparatură şi sisteme de măsurare adecvate, precum şi cu un sistem de achiziţie şi prelucrare automată a datelor experimentale.

S-a folosit în acest scop calculatorul TIM-S, care a fost racordat în mod corespunzător la sistemele de măsurare prin intermediul unei interfeţe de concepţie proprie.

Se arată, în continuare, unele rezultate privind performanţele modelului de paletă SK-1, proiectat în cadrul Catedrei de maşini hidraulice.

The report is concerned with the 30 kW, 10 m diameter laboratory wind unit designed and manufactured at the Timişoara Polytechnical Institute for testing the components of the system for wind energy conversion into electric energy. It is also used for testing the model blading of horizontal axis wind units.

The report presents the operating experience gained with such a unit along a period of several years. It also includes a critical analysis of the efficiency of the various structural solutions of the components used along way.

A presentation is made of the testing methodology of the unit, which has been therefore endowed with adequate measurement apparata and systems, as well as with a system for experimental data automatic sampling and processing. With this aim, the TIM-S computer has been used, adequately coupled to the measurement systems by means of an original interface.

Further on are presented several results concerning the performances of the SK-1 blade model, which has been designed with the Hydraulic Engine Chair of the Institute.

1. Destinaţia agregatului de laborator

Agregatul de laborator AAETO-L1 (agregat aeroelectric cu turbină cu ax orizontal), denumit AEROTIM-L1, este un grup de cercetare realizat în cadrul programului Consiliului Naţional pentru Ştiinţă şi Tehnologie. Este amplasat pe clădirea Laboratorului de mecanică aplicată al Institutului Politehnic din Timişoara şi conectat la reţeaua electrică locală. Este primul agregat conceput şi executat la Institutul Politehnic în cadrul programului, fiind un model de laborator al viitoarelor agregate aeroelectrice destinate Sistemului Energetic Naţional [2, 12].

Prin realizarea acestui agregat au fost urmărite două direcţii de cercetare. Prima constă în studiul funcţionării ansamblului şi a sistemelor componente în scopul optimizării componenţei viitoarelor agregate industriale. A doua direcţie se referă la paletajul turbinei, urmărind testarea pe model a paletajelor viitoarelor agregate industriale. Astfel se compensează pentru moment lipsa unui tunel aerodinamic corespunzător care să permită cercetări pe modele cu diametru de cel puţin 2 m.

2. Caracteristicile tehnice şi componenţa agregatului

Principalele caracteristici ale agregatului sînt :
— putere instalată maximă : 30 kW;
— turaţii : 45... 128 rot/min;
— diametrul turbinei : 10 m;
— număr de palete : 2, 3 sau 6;
— rotor aval de stîlp;
— cota axei agregatului faţă de sol : 35 m;
— viteze de vînt de exploatare : 3,5... 20 m/s.

În legătură cu componenţa agregatului se precizează că echiparea este de tip laborator, mult mai complexă decît cea a agregatelor industriale. Această dotare permite realizarea de cercetări variate pe toate componentele sistemului.

Stîlpul (1×1 m^2) fixat pe acoperişul special pregătit al laboratorului susţine casa maşinilor prin intermediul unui lagăr axial. Turbina eoliană se compune din arbore, lagăre, butuc, unghiul de conicitate al rotorului fiind reglabil între 0 şi 10°.

* Acad. prof. dr. doc. ing. Ioan Anton, prof. dr. ing. Francisc Gyulai, prof. dr. ing. Iosif Preda, ing. Cornel Albu, ing. Lazăr Broştean, ing. Emilian Suciu, as. ing. Ionel Baciu — Institutul Politehnic „Traian Vuia" Timişoara.

La rotorul turbinei se conectează sistemul de reglare a paletelor. În cursul celor patru ani de exploatare au fost testate două sisteme de reglare : unul cu motorul electric și reductorul plasate pe rotor, al doilea cu acces în nacelă,

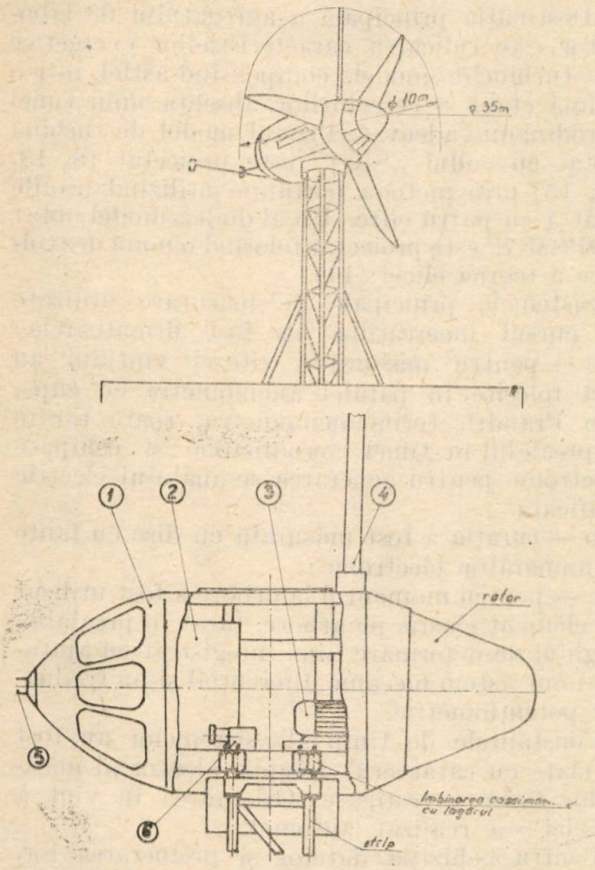


Fig. 1. Agregatul AEROTIM-L1 — 30 kW : 1 — casa mașinilor ; 2 — dulapuri electrice ; 3 — mașini electrice ; 4 — stîlp paratrăsnet ; 5 — suport instrumente de măsură ; 6 — mecanism orientare.

legătura cu mecanismul din rotor făcîndu-se prin intermediul unui lagăr axial concentric cu arborele tubular.

Transmisia mecanică a agregatului realizează mărirea turației și distribuirea mișcării pe trei linii de arbori cu axe paralele cu cea a rotorului. Rapoartele de multiplicare realizate sînt 32 : 1, 16 : 1 și 13 : 1. Între turbină și transmisie este intercalat un traductor de torsiune pentru măsurarea momentului la arborele turbinei. Au fost testate două tipuri de transmisie : unul cu curele și unul cu lanț. La cele trei cuplaje ale transmisiei sînt legate, prin intermediul unor cuplaje electromagnetice, trei generatoare electrice : două asincrone cu rotor bobinat și cascadă suprasincronă atașată la circuitul rotoric și unul sincron la care este conectat sistemul de redresare pentru alimentarea bateriei de acumulatoare.

Turbina este echipată cu două frîne : una de serviciu cu acționare manuală și una de avarie cu bandă și declanșator centrifugal.

Rotirea nacelei pentru orientarea ei pe direcția vîntului se realizează prin acționare electromecanică (motor electric, reductor, coroană dințată, cuplaj electromagnetic, frînă, limitatorul unghiului de răsucire). Cele aproape 200 căi de curent de coborîre din nacelă au fost rezolvate în două variante : una folosind perii, a doua cabluri torsionabile. Acestea transmit semnalele de comandă și cele privind starea componentelor la dulapurile de automatizare.

Echipamentele auxiliare sînt : macara de 2500 N cu cale fixată în plafonul nacelei, paratrăsnet, instalații de balizare, trolii și dispozitive de montaj.

În clădirea laboratorului sînt amplasate : camera de comandă și conectare la barele laboratorului și camera acumulatoarelor pentru intervenții în condiții de avarie. Echiparea electrică permite numeroase variante de exploatare : generator asincron, generator asincron cu cascadă suprasincronă, generator sincron.

3. Condiții aeroenergetice locale

Utilizînd distribuții teoretice de tip Weibull cu trei parametri [16, 17] au fost prelucrate pe calculator peste o sută de mii de date meteorologice privind viteza orară a vîntului la Timișoara, din perioada 1975—86. Principalele rezultate ale acestor prelucrări sînt : viteza mijlocie multianuală este de 1,8 m/s ; probabilitatea ca viteza să depășească 3 m/s este doar de 18%, circa 5000 ore/an datele meteorologice indicînd „calm". Energia cinetică brută unitară este doar de 747 kWh/m² an. Coeficientul de rafală cu frecvență maximă a rezultat de 1,16, iar viteza maximă catastrofală doar de 40 m/s.

Din aceste date se vede că amplasamentul nu a fost ales din considerente energetice, ci din considerentul accesului facil și al interconectării cu sisteme de achiziție de date existente în dotarea laboratoarelor învecinate : cel de mașini hidraulice și cel de vibrații.

4. Comportarea agregatului în timpul exploatării

Agregatul este în funcțiune de patru ani, timp în care a fost urmărită comportarea ansamblului și a subsistemelor componente. Se redau în continuare cîteva rezultate ale acestor observații, care au fost valorificate în concepția viitoarelor agregate industriale de 300 și 1000 kW [1].

Opțiunea pentru poziția aval a turbinei față de stîlp s-a dovedit corectă [7, 9]. Nu s-a constatat nici o anomalie în funcționare din această cauză. Pentru certitudine și în condițiile stîlpului cilindric, un al doilea model al agregatului pus în funcțiune la CCSITEH Timișoara a fost conceput în așa fel încît să permită

ambele variante de exploatare, atît cu rotor aval de stîlp, cît și cu rotor amonte de stîlp.

Transmisia cu curele amortizează șocurile date de rafale, dar nu este suficient de sigură din cauza alunecărilor cu pericole de ambalare a turbinei. S-a renunțat la această variantă.

În ceea ce privește măsurile de protecție, frîna de avarie plasată direct pe rotor, declanșată inerțial, este o soluție corectă și sigură. Ea este necesară avînd în vedere că timpul în care turbina se ambalează în cazul decuplării de la sistem este de cîteva secunde. De asemenea, s-a dovedit corectă condiția impusă la dimensionarea paletei de a rezista la o supraturare de 100%. La o avarie care a provocat o supraturare de durată la un vînt extrem de circa 35 m/s, rotorul a supraviețuit fără defecțiuni. S-a ajuns, de asemenea, la concluzia că în starea de așteptare a agregatului este mai bună protecția dacă nici casa mașinilor și nici rotorul nu sînt frînate. Prima măsură protejează stîlpul față de șocurile de torsiune, a doua, aplicată desigur în condițiile paletajului în drapel, reduce solicitarea arborelui.

În cadrul acestor cercetări a fost experimentată o tehnologie optimizată de montare a paletelor care îndeplinește o serie de condiții: de solicitare a arborelui, de simplificare a dispozitivelor și aparatelor de ridicat și de protecție a muncii.

Sistemul de conversie în energie electrică de tip generator asincron cu cascadă suprasincronă în circuitul rotoric s-a dovedit deosebit de util prin elasticitatea pe care o oferă agregatului la rafale și prin exploatarea agregatului la turații diferite. S-a dovedit utilă pentru producția de energie și echiparea cu mai multe generatoare electrice, mai ales prin valorificarea domeniului puterilor mici. Această echipare electrică mai complexă are și laturi negative prin fiabilitatea mai scăzută a componentelor care constituie sursa a numeroase defecte. Aceeași problemă de fiabilitate scăzută apare la acționările cu viteză variabilă și la întreaga automatică. Astfel, trebuie căutat un compromis rațional între tendința de simplificare a echipării și cerințele de exploatare în funcție de nivelul de fiabilitate a componentelor, mai ales a celor electronice și electrice [6].

Deoarece transmiterea semnalelor electrice prin perii aprovocat frecvente defecte, s-a optat pentru fascicule de cabluri torsionabile între casa mașinilor și camera de comandă, iar între rotorul turbinei și casa mașinilor au fost eliminate legăturile electrice prin soluții mecanice. Blocul de acționare electromecanică a reglării paletelor a fost plasat în nacelă, renunțîndu-se la varianta de amplasare pe rotor. Traductorul pentru poziția paletelor a fost rezolvat, de asemenea, printr-o transmisie diferențială mecanică cu culegerea semnalului electric în nacelă.

Au fost trase concluzii utile și în privința influenței poziției centrului masic al paletei asupra reglajului și protecției turbinei [4, 5, 11].

5. Testări ale caracteristicilor turbinei

Destinația principală a agregatului de laborator este ridicarea caracteristicilor energetice ale turbinelor model, compensînd astfel, într-o primă etapă a cercetărilor, absența unui tunel aerodinamic adecvat. Primul model de turbină notat cu codul „SK-1" este proiectat [8, 13, 10, 15] prin metoda portanței utilizînd profile NACA cu patru cifre. Un al doilea model notat „OPSM-7" este proiectat folosind o nouă dezvoltare a teoriei elicei [14].

Sistemele principale de măsurare utilizate în cursul încercărilor au fost următoarele:

a — pentru măsurarea vitezei vîntului au fost folosite în paralel anemometre cu cupe, tub Prandtl, termoanemometru, toate tarate în prealabil în tunel aerodinamic și echipate electronic pentru generarea semnalului electric unificat;

b — turația a fost măsurată cu disc cu fante și numărător electronic;

c — pentru momentul la arbore a fost utilizat un element elastic pe arbore, tarat în prealabil, unghiul de deformare fiind înregistrat cu ajutorul unui sistem mecanic diferențial și un traductor potențiometric.

Constantele de timp ale sistemelor au fost corelate cu caracterul dinamic aleator al mărimilor fizice investigate. Orientarea în vînt a nacelei s-a realizat automat.

Pentru achiziția datelor și prelucrarea lor, agregatul este echipat cu mai multe sisteme de calcul. Unul este plasat în camera de comandă și constă dintr-un calculator TIM-S, echipat corespunzător, utilizat exclusiv pentru testările agregatului. Celelalte posibilități constau în conectarea pe timp limitat a agregatului la un sistem de calcul de proces HEWLET-PACKARD, respectiv un alt calculator similar specializat pentru măsurări de vibrații și tensiuni mecanice.

În continuare se redau cîteva din rezultatele testărilor efectuate pe paletajul SK-1.

5.1. Probele de mers în gol au urmărit identificarea caracteristicilor de pornire și ambalare ale turbinei. Dintr-un volum mare de măsurători de lansare în gol a agregatului au rezultat condițiile optime de pornire: la unghiul de reglaj spre drapel de 53°, agregatul, necuplat la rețea, pornește la viteza vîntului de 3,5 m/s.

Probele de ambalare sînt redate în figura 2. Datele au fost prelucrate prin analize de corelație. Din aceste date poate fi dedusă valoarea maximă a numărului caracteristic $\lambda = R\omega/v$, mărime importantă în caracterizarea turbinei. Aceasta ajunge la maximum 10, valoare relativ mică pentru numărul caracteristic nominal al

turbinei de circa 6. Din punctul de vedere al ambalării, soluția este favorabilă. Dintr-un alt punct de vedere, începerea debitării în rețea la o turație dată, care depinde și ea de numărul caracteristic maxim, ar fi favorabilă o valoare mai mare.

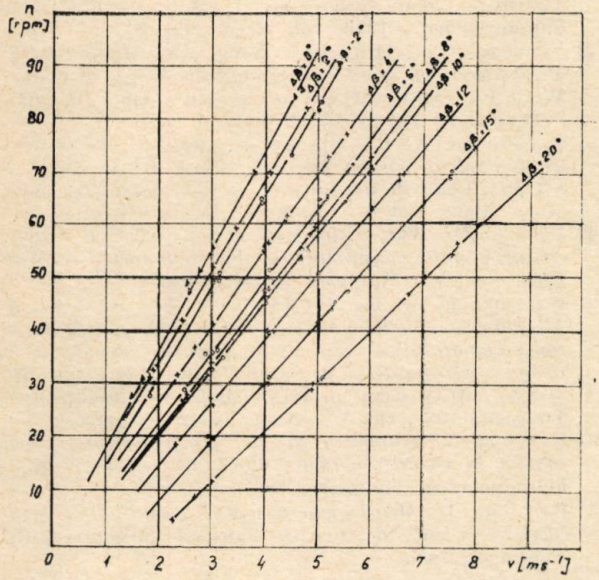


Fig. 2. Probe de ambalare AAETO-L1.

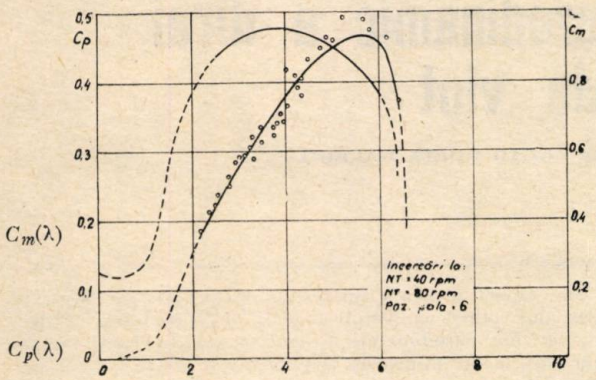


Fig. 3. Curbe adimensionale pentru turbina SK-1.

5.2. Încercările de mers în sarcină au fost efectuate utilizînd în secvențe succesive ambele mașini de inducție în regim de generator, avînd rotorul în scurtcircuit. În condițiile de producție, cele două mașini asincrone au oferit posibilitatea explorării caracteristicilor în două domenii de turație ale turbinei eoliene. Aceste explorări au fost efectuate totodată la diferite poziții ale paletelor rotorice. Un exemplu de rezultat este redat în figura 3 sub forma curbelor $C_p(\lambda)$ și $C_m(\lambda)$. Curbele au fost trasate de calculator utilizînd un procedeu de regresie polinomială.

Valoarea maximă pentru coeficientul de putere este deosebit de favorabilă, superioară valorii antecalculate teoretic. Ea se realizează la un unghi de reglaj de 6°. În domeniul reglajului între 0° și 6° curbele se grupează în jurul acestui maxim situat peste 0,4, ceea ce este avantajos pentru reglaj, nefiind necesară o precizie mare de poziționare a paletei. Locul valorii maxime

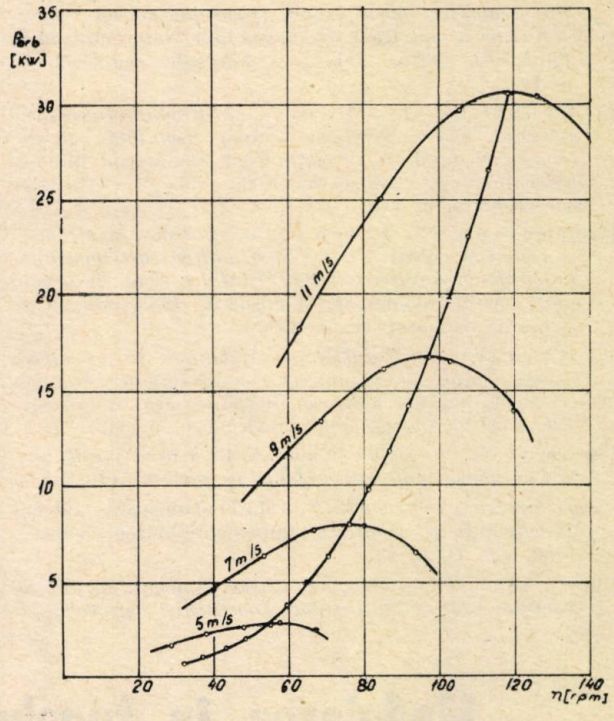


Fig. 4.

a coeficientului de putere se situează la număr caracteristic de aproximativ 5,5, inferior valorii de calcul de 6,7.

În figura 4 sînt redate curbele de exploatare ale turbinei SK-1 la turație variabilă, exploatare posibilă în condițiile de echipare date. Turbina realizează puterea de 30 kW la viteza vîntului de 11 m/s și turația de 110 rot/min.

Concluzii

Agregatul de laborator a permis efectuarea unui studiu extins privind componența optimă a unui agregat de tip industrial, cu numeroase concluzii care au fost valorificate la proiectarea agregatelor industriale de 300 kW și la studiile preliminare pentru cel de 1000 kW.

El poate fi utilizat în lipsa unui tunel aerodinamic adecvat, pentru testarea pe model a paletajelor turbinelor de vînt cu ax orizontal, pentru compararea variantelor și îmbunătățirea pas cu pas a performanțelor acestora.

Bibliografie

[1] Anton, I., Gyulai, F. *Optimizarea construcției agregatelor de vînt echipate cu turbine cu ax orizontal.* Conf. de mașini hidr. și hidrodinamică, Timișoara, 1985, vol. V — Agregate aeroelectrice, p. 1.

[2] Albu, C., Suciu, E., Broştean, I. *Concepţia de ansamblu a agregatului de laborator cu turbină de vînt cu ax orizontal.* Conf. de maşini hidr. şi hidrodinamică, Timişoara, 1985, vol. V — Agregate aeroelectrice, p. 9.

[3] Preda, I. *Caracteristicile de exploatare ale AAETO-L1 Timişoara.* Conf. de maşini hidr. şi hidrodinamică, Timişoara, vol. V — Agregate aeroelectrice, p. 103.

[4] Broştean, L., Baciu, I. *Studiul efectului forţelor din greutatea proprie asupra reglajului palelor rotorice la turbine de vînt.* Conf. de. maşini hidr. şi hidrodinamică, Timişoara, 1985, vol. V — Agregate aeroelectrice, p. 113.

[5] Broştean, L., Baciu, I. *Studiul teoretic al efectului forţelor centrifuge asupra reglajului palelor rotorice la turbinele de vînt.* Conf. de maşini hidr. şi hidrodinamică, Timişoara, 1985, vol. V — Agregate aeroelectrice, p. 119.

[6] Budişan, N., Teleagă, P. *Sistemele de acţionare şi reglare a paletei turbinei şi a poziţiei casei maşinilor la agregatul aeroelectric AEROTIM-L1.* Conf. de maşini hidr. şi hidrodinamică, Timişoara, 1985, vol. V — Argegate aeroelectrice, p. 259.

[7] Gyulai, F. *Probleme de stabilitate la orientarea nacelei agregatelor de vînt echipate cu turbine orizontale.* Conf. de maşini hidr. şi hidrodinamică, Timişoara, 1985, vol. V — Agregate aeroelectrice, p. 343.

[8] Gyulai, F., Kuzman, A. F. *Cîteva particularităţi în aplicarea metodei portanţei la proiectarea turbinelor de vînt cu ax orizontal.* CCSITEH Timişoara „20 ani de cercetare şi proiectare echipamente hidromecanice", 1986, vol. II, p. 233.

[9] Gyulai, F., Albu, C. *Cîteva implicaţii ale poziţiei rotorului faţă de stîlp asupra construcţiei agregatelor de vînt cu turbină orizontală.* CCSITEH Timişoara „20 ani de cercetare şi proiectare echipamente hidromecanice", 1986, vol. II, p. 235.

[10] Gyulai, F., Raszga, C. *Utilizarea familiei de profile NACA (4 cifre) în proiectarea turbinelor de vînt.* CCSITEH Timişoara „20 ani de cercetare şi proiectare echipamente hidromecanice", 1986, vol. II, p. 246.

[11] Broştean, L., Baciu, I *Aspecte privind efectul giroscopic la turbinele de vînt cu ax orizontal.* CCSITEH Timişoara „20 ani de cercetare şi proiectare echipamente hidromecanice", 1986, vol. II, p. 262.

[12] Voicu, Gh., Ţânţăreanu, Cr., Tudor, M. *Perspectives of wind power utilization in Romania.* Wind En. Conv. 1985, Proc. 7 Brit. Wind En. Ass. Conf. Oxford 27—29 March 1985, p. 29.

[13] Kuzman, A. F., Sişak, E. *Seria de palete pentru turbine eoliene cu ax orizontal SK-1, SK-2, SK-3 şi SK-PD.* Conf. de maşini hidr. şi hidrodinamică, Timişoara, 1985, vol. V — Agregate aeroelectrice, p. 77.

[14] Popa, O. *Asupra dimensionării paletelor de rotoare eoliene.* Conf. de maşini hidr. şi hidrodinamică, Timişoara 1985, vol. V — Agregate aeroelectrice, p. 57.

[15] Kuzman, A. F., Brostean, L., Baciu, I. *Metodă grafo-analitică asistată de calculator pentru majorarea numărului de secţiuni cu geometrie cunoscută în lungul razei paletelor de turbină eoliană compusă din profile NACA.* Conf. de maşini hidr. şi hidrodinamică Timişoara 1985, vol. V — Agregate aeroelectrice, p. 89.

[16] Preda, I. *Estimarea energiei produse de o turbină eoliană în condiţii normate.* Conf. de maşini hidr. şi hidrodinamică, Timişoara, 1985.

[17] Preda, I. *Metodologia estimării potenţialului aeroenergetic.* Conf. de maşini hidr. şi hidrodinamică, Timişoara, 1985.

(Primit la 6 iulie 1989, acceptat la 14 iulie 1989)

Modelarea în tunelul aerodinamic a dîrei agregatelor de vînt

Prof. dr. ing. FRANCISC GYULAI, as. ing. CEZAR DORIN GALERIU *

Descriptori: centrale aeroelectrice, tunele aerodinamice

Lucrarea prezintă rezultatele încercărilor efectuate în tunelul aerodinamic cu diametrul de 400 mm din laboratorul de maşini hidraulice al Institutului Politehnic Timişoara, pe modele statice şi rotative ale turbinei de vînt. Măsurătorile au constat în înregistrarea cîmpului de viteze, în determinarea gradului de turbulenţă şi a presiunii statice în dîra modelului.

The report presents the results of the tests performed on static and rotary wind unit models, tests performed within the 400 mm aerodynamic tunnel of the hydraulic engine laboratory of the Timişoara Polytechnical Institute. Measurements have been taken on wind speed range, turbulence degree determination and track static pressure of the model.

Introducere

Problematica dîrelor turbinelor de vînt este deosebit de actuală în proiectarea acestor maşini [1, 2, 3]. Particularitatea lor faţă de turbinele hidraulice clasice constă în absenţa tubulaturii şi a paletajelor statorice. Calculul aerodinamic al rotorului implică cunoaşterea cîmpului de viteze şi presiuni aval de turbină. În determinarea acestor condiţii asimptotice aval intervin dificultăţi cauzate de fenomenele din dîră şi de interacţiunea dintre dîră şi curentul de fluid adiacent. Modelele clasice de calcul al elicelor [4] şi reluările mai recente în forme mai riguroase ale acestora în ipoteza geopiezopotenţială [5] nu oferă precizii suficiente în cîmpurile puternic turbulente, fapt sesizat încă de Glauert [6]. În aceste condiţii, orice informaţie suplimentară, orice ordonare a cunoştinţelor despre dîrele generate de obstacole plasate în cîmpuri deschise reprezintă o contribuţie utilă la perfecţionarea proiectării turbinelor.

Cu această motivaţie, în laboratorul de maşini hidraulice de la I.P. Timişoara se desfăşoară cercetări în acest domeniu utilizînd un tunel

* Prof. dr. ing. Francisc Gyulai, as. ing. Cezar Dorin Galeriu — Institutul Politehnic „Traian Vuia" Timişoara.

aerodinamic cu diametrul cîmpului de lucru de 400 mm [7].

1. Aparatura de măsură

Măsurătorile au constat în înregistrarea cîmpului de viteze și în determinarea gradului de turbulență și a presiunii statice în axa dîrei. Aparatura utilizată este prezentată în figura 1. În secțiunea de eflux a ajutajului (1) tunelului aerodinamic este plasat modelul de simulare static (2), $D_M = 80$ mm, sau rotitor (3), $D_M = 300$ mm, al agregatului aeroelectric. Viteza medie V a curentului din secțiunea de eflux a ajutajului este determinată prin intermediul indicației „l" a micromanometrului cu tub înclinat (4) din curba de etalonare a tunelului aerodinamic L.M.H.T. [8]. Pentru diferite valori ale distanței „L", măsurate în aval, în raport cu modelul de simulare, s-au efectuat cu ajutorul unui traductor cu fir cald (5), conectat la grupul (6) de instrumente DISA, determinări ale valorilor instantanee ale componentei axiale a vitezei locale V. Prin deplasarea automată a traductorului, a fost posibilă investigarea într-un plan orizontal a cîmpului de viteze și înregistrarea acestuia cu ajutorul coordonatografului (7). Variația presiunii statice în axa dîrei, $\Delta p_{st} = p_{st} - p_{at}$, a fost măsurată cu ajutorul sondei disc (8) legată la traductorul (9) cu lichid magnetic [9]. Pentru fiecare poziție a sondei disc, citirile în număr de cincizeci indicate de puntea tensometrică (10) și respectiv numărătorul electronic (11) au fost înregistrate de imprimanta (12) și prelucrate statistic.

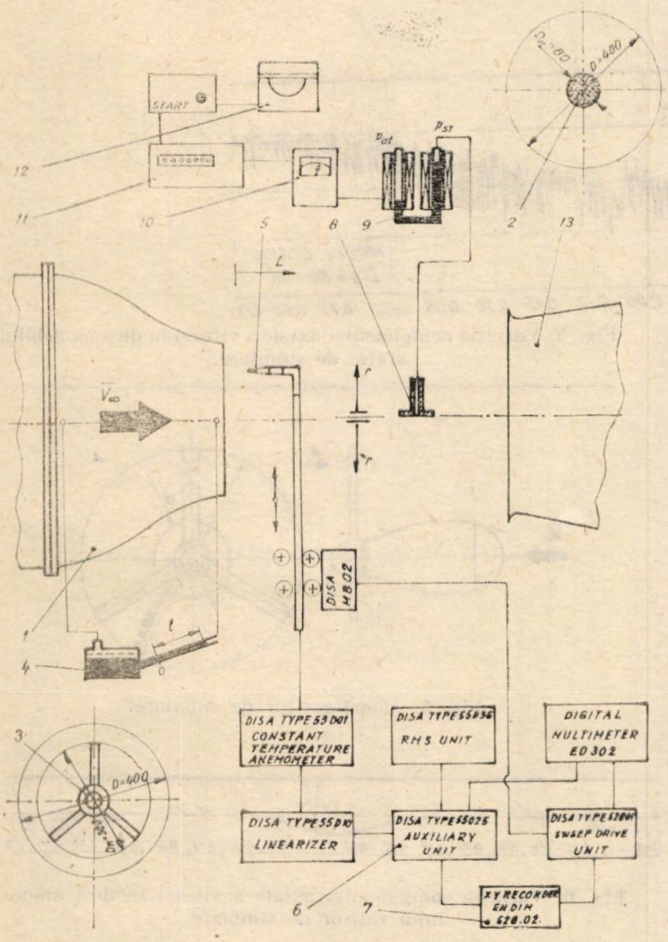


Fig. 1. Aparatura de măsură.

3. Model static de simulare

Asimilînd agregatul eolian cu o suprafață permeabilă, modelul static de simulare (fig. 2) a fost utilizat pentru delimitarea domeniului de evoluție a mișcării cu caracter de dîră. Pentru aceasta, înregistrările efectuate (fig. 3) au fost reprezentate prin mediere și concentrate în figura 4.

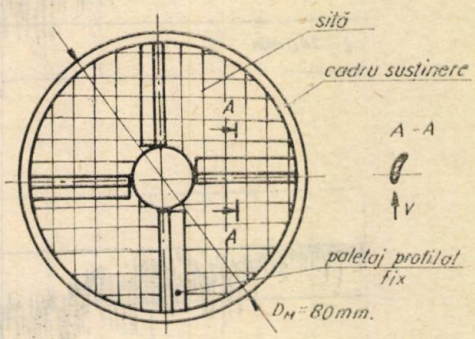
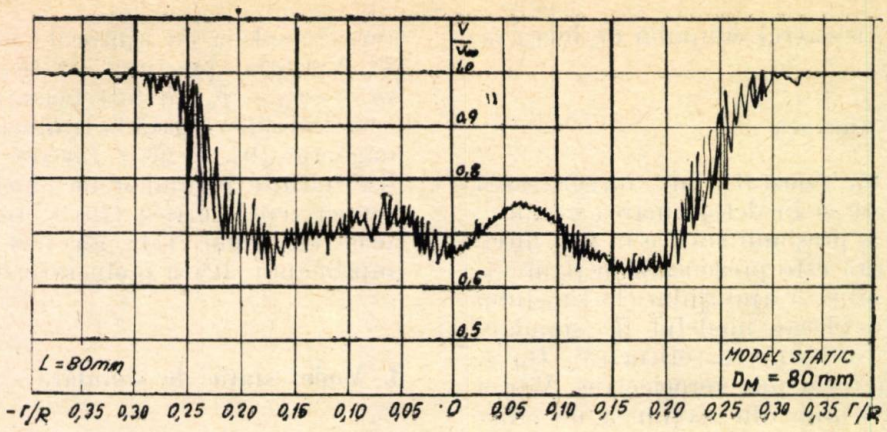


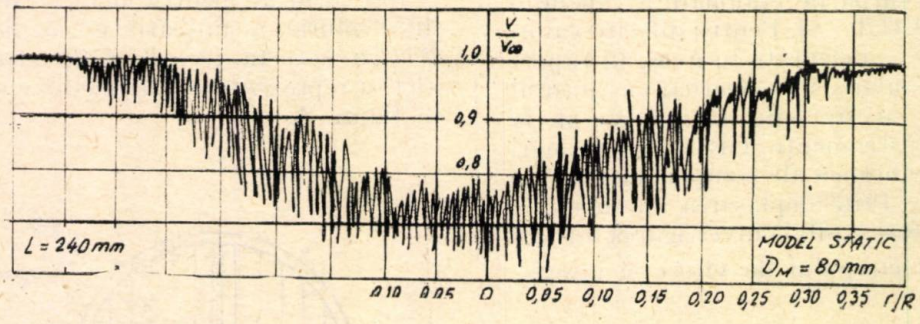
Fig. 2. Model static de simulare.

4. Model rotitor de simulare

În zona de lucru a tunelului a fost dispus și un model rotitor de simulare (fig. 5) cu $D_M = 300$ mm avînd trei palete drepte netorsionate. În condițiile în care diametrul modelului nu respectă prescripțiile de încadrare geometrică impuse [10] la încercările în tunelele aerodinamice, înregistrările au vizat doar evidențierea unor particularități ale structurii dîrei datorate rotației. La modelul rotitor de simulare utilizat s-a constatat (fig. 6) că variația componentei axiale a vitezei, ce caracterizează mișcarea de tip dîră, este în imediata vecinătate a rotorului limitată practic la diametrul butucului, iar deficitul de viteză ($V_\infty - V$) este redus comparativ cu modelul static (vezi fig. 3).

În cadrul geometric și pentru modelul rotitor disponibil nu a fost realizat un control riguros al turației care influențează fluctuațiile componentei axiale a vitezei, în sensul că acestea cresc cu scăderea turației „n" și apropierea de butuc (fig. 7).





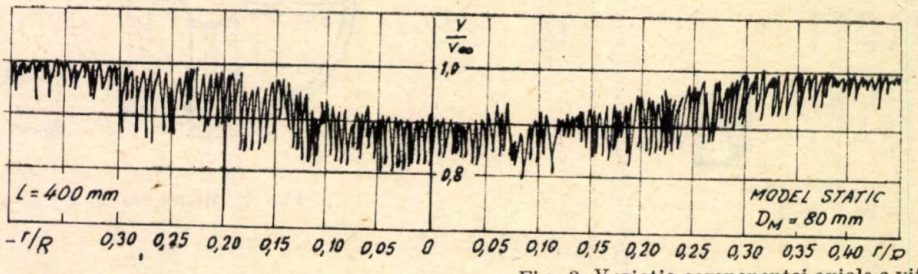


Fig. 3. Variaţia componentei axiale a vitezei în dîra modelului static de simulare.

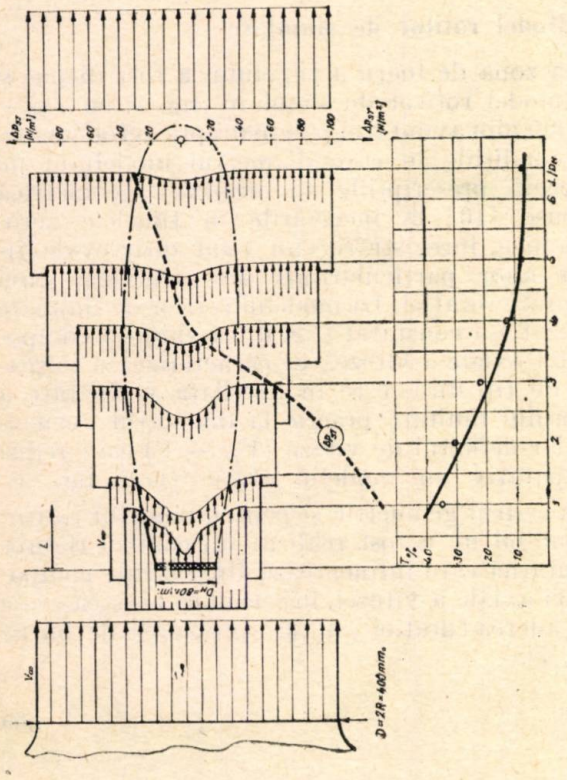


Fig. 4. Variaţia componentei axiale a vitezei, presiunii statice a gradului de turbulenţă în dîra axei.

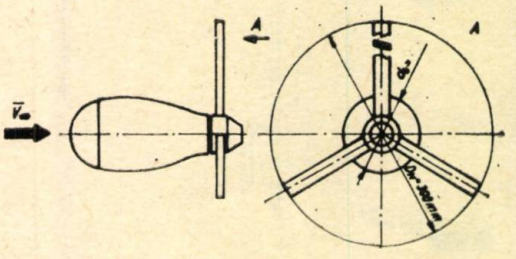


Fig. 5. Model rotitor de simulare.

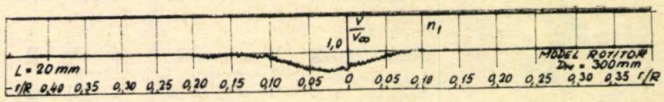


Fig. 6. Variaţia componentei axiale a vitezei în dîra modelului rotitor de simulare.

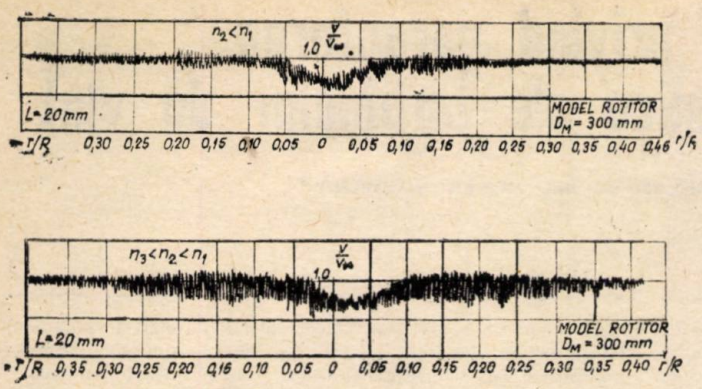


Fig. 7. Influența turației asupra variației componentei axiale a vitezei în dîra modelului rotitor de simulare.

Observații

1. Se poate aprecia (fig. 4), localizînd secțiunea în care profilul de viteze redevine uniform, că extinderea axială a dîrei acoperă circa 6,5 D_M.

2. Fluctuațiile vitezei prezente în toate înregistrările reflectă caracterul pregnant turbulent al mișcării din dîră și dau o măsură a intensității turbulenței. Pentru modelul static de simulare s-a măsurat, în ipoteza turbulenței izotrope, și s-a reprezentat (fig. 4) variația gradului de turbulență

$$T\% = \frac{\sqrt{\overline{\tilde{V}'^2}}}{\bar{V}}$$

în axa dîrei. Se observă că în imediata apropiere a modelului au fost sesizate valori foarte mari, care pot fi interpretate ca efect al emisiei periodice de vîrtejuri. În aval, pe măsura îndepărtării de model are loc o atenuare progresivă a gradului de turbulență.

3. În figura 4 este reprezentată și variația presiunii statice în axa dîrei, care marchează căderea de presiune din dreptul modelului și confirmă extinderea axială a dîrei la circa 6,5 D_M.

Concluzii

Se poate concluziona că măsurătorile efectuate, deși au abordat aspecte generale, pot constitui o bază de plecare pentru o investigare aprofundată a fenomenului de dîră.

Considerăm că modelul rotitor de simulare nu poate oferi informații corelate privind efectele specifice rotației asupra structurii dîrei. Sînt necesare, deci, modele de simulare și tunele aerodinamice cu secțiune de lucru, care să permită încadrarea corespunzătoare a modelului [1, 10] și reproducerea la scară a geometriei paletei.

Totodată, apreciem că modelarea dîrelor în tunele aerodinamice de dimensiuni mici, folosind în locul turbinei obstacole statice, este o cale comodă și economică, care oferă date utilizabile chiar dacă sînt neglijate unele aspecte specifice turbinei în rotație.

Bibliografie

[1] Afjeh, A. A., Keith, Jr. T. G. *A Simplified Free Wake Method for Horizontal-Axis Wind Turbine Performance Prediction.* In: Trans. ASME. J. of Fluids Eng., vol. 108/Dec., 1986, p. 400.

[2] Chevray, R. *The Turbulent Wake of a Body of Revolution.* In: Trans ASME. J. of Basic Eng., June 1968, p. 275.

[3] Ainslie, J. F. *Development of an Eddy Viscosity Model for Wind Turbine Wakes.* Wind En. Conv. 1985 — Proc. 7 Brit. Wind En. Ass. Conf. Mech. Eng. Publ. Lmt. London.

[4] Tipei, N. *Calculul aerodinamic al aeromotoarelor.* În: Studii și cercetări de mecanică și metalurgie, tom III, nr. 3—4, 1952, p. 177, Editura Academiei R.S.R.

[5] Popa, O. *Soluționarea problemei mișcării homocore a fluidelor perfecte în prezența elicelor propulsive și a rotoarelor eoliene.* In: Studii și cercetări de mecanică aplicată, tom 43, nr. 5—6, 1984, p. 512, Editura Academiei R.S.R.

[6] Glauert, H. *The Analysis of Experimental Results in the Windmill Brake and Vortex Ring States of an Airscrew.* Br. B and M 1026, 1926.

[7] Bărglăzan, A., Anton, I., Anton, V., Preda, I. *Încercările mașinilor hidraulice și pneumatice.* Editura Tehnică, București, 1959.

[8] Galeriu, C. D. *Îndrumător de laborator la mișcări potențiale și hidrodinamica rețelelor de profile. Teoria stratului limită,* partea I, I.P.T.V. Timișoara, 1985.

[9] Potencz, I, Suciu, E., Vékás, L. *Magnetofluidic Transducers for Low Pressure Differences.* In: Revue Roumaine des Sciences Techniques, Serie de Mecanique Appliquée, Tom. 30, nr. 2—3, 1985.

[10] Marinescu, Al. *Metode, aparate și instalații de măsură în aerodinamică.* Editura Academiei R.S.R., 1970.

(Primit la 6 iulie 1989, acceptat la 14 iulie 1989)

Cîteva probleme privind garantarea performanţelor aerodinamice ale turbinelor de vînt

Prof. dr. ing. FRANCISC GYULAI, as. ing. EUGEN DOBÎNDĂ *

Descriptori : centrale aeroelectrice

Pe baza analizării unor date din literatură privind compararea curbelor caracteristice calculate cu cele măsurate se discută cauzele abaterilor constatate. Acestea sînt mai multe : aproximarea performanţelor energetice ale profilelor în rotaţie pe baza cataloagelor de profile plane, efectul anvergurii finite, modele de calcul al vitezelor axiale în dîra turbinei etc. Se prezintă un model de calcul îmbunătăţit, cu ajutorul căruia se analizează influenţa unor mărimi geometrice caracteristice pentru construcţia paletajului asupra curbelor caracteristice ale turbinei.

Based on the analysis of certain data taken from the technical literature in the field referring to the comparison between computed and measured characteristic curves, an approach of the depicted deviation causes is made in the report. Among them the following are tackled : the revolving profiles, the effect of the finite span, the computation of turbine track axial speed rates and so on. The report presents an improved computation model, by means of which the influence of certain geometrical quantities specific to blading design over the turbine characteristic curves is analysed.

Garantarea performanţelor turbinelor de vînt din componenţa agregatelor aeroelectrice destinate sistemului energetic naţional ridică mai multe probleme legate de metodica proiectării şi testării performanţelor. Verificarea finală a performanţelor se realizează, de regulă, pe agregatele industriale şi pe amplasamentele finale ale acestora, operaţie care este de durată şi are loc destul de tîrziu, eventualele corectări ale construcţiei putînd fi operate doar la următoarele agregate şi probabil în mai multe trepte succesive. La începutul asimilării în fabricaţie a turbinelor, singura bază pentru formularea garanţiilor rămîne modelul de calcul care realizează legătura între forma geometrică a paletei şi curbele caracteristice ale turbinei. În faza proiectării, cînd se urmăresc optimizări ale construcţiei [1, 2, 3], acest model de calcul permite ca în locul calculului aerodinamic într-un singur punct, „nominal", al turbinei să fie urmărită curba caracteristică a turbinei în întregul domeniu de exploatare, de la regimul de pornire pînă la cel de ambalare. Paletajele nereglate, de exemplu, trebuie să îndeplinească mai multe cerinţe în zone de exploatare îndepărtate de punctul nominal [4, 6] : condiţii de pornire în gol şi condiţii de plafonare a puterii în domeniul vitezelor de vînt mari.

În continuare se prezintă un program de calcul pentru identificarea performanţelor turbinei.

1. Program de calcul pentru analiza comportării turbinei în întregul domeniu de funcţionare

Programul de calcul porneşte de la geometria paletei, respectiv a turbinei şi calculează toate acţiunile aerodinamice asupra lor în funcţie de unghiurile de instalare, viteza vîntului, masa specifică a aerului şi turaţia turbinei. Schema bloc a programului este redată în continuare.

Mărimi de intrare (geometria turbinei) :
- -număr palete, număr secţiuni, razele maximă şi minimă;
- -pentru fiecare secţiune : lungimea corzii, poziţia axului, codul profilului, unghiurile iniţiale de instalare;
- -opţiuni : profil neted, rugos (standard).

Alte mărimi : densitatea aerului, unghiurile de reglaj, viteza vîntului, turaţia, coeficienţii de frecare în lagăr, la butuc etc.

Principalele tronsoane de calcul :
- — calculul anvergurilor elementare asociate secţiunilor de calcul;
- — calculul triunghiurilor de viteze cu iteraţiile corespunzătoare;
- — calculul forţelor portante, al forţelor de rezistenţă şi al centrelor de presiune;
- — calculul forţelor axiale elementare;
- — calculul momentelor elementare;
- — forţa axială totală;
- — momentul la arborele turbinei;
- — coeficienţii de moment, forţă axială şi putere.

Opţiuni :
- — forţe şi momente reduse pentru calculul de rezistenţă;
- — analiza profilelor : incidenţa, coeficienţi dinamici, randamente parţiale;
- — curbe caracteristice adimensionale;
- — analiza comportării la reglare.

Subprograme apelate :
- — catalog de profile NACA extins şi pentru incidenţe mari.

Principalele dificultăţi care apar la întocmirea unui astfel de model de calcul au fost analizate

* Prof. dr. ing. Francisc Gyulai, as. ing. Eugen Dobîndă — Institutul Politehnic „Traian Vuia" Timişoara.

de O. de Vries prin compararea performanțelor calculate cu cele măsurate în tunel [7]. Neconcordanțele mari constatate se datorează următoarelor cauze :

— abateri ale măsurătorilor în tunel față de comportarea turbinei în cîmp deschis (corecții de tunel, blocarea dîrei, turbulența tunelului etc.) ;

— aproximații acceptate în modelele de calcul.

În ceea ce privește aproximațiile din modelul de calcul sînt importante două grupe de probleme :

a — trecerea de la datele de catalog ale profilurilor aerodinamice plane la rețeaua de palete cu anvergură finită în mișcare de rotație ;

b — calculul condițiilor asimptotice pentru rețeaua de palete în condițiile dîrei din spatele rotorului.

Prima grupă de probleme a fost rezolvată prin implantarea în program a unui catalog de profile NACA—XXXX [5]. Pe baza datelor din [8, 9, 10] au fost aproximate analitic, pe trei domenii racordate, curbele :

$$C_a = f(i); \quad C_w = f(i); \quad C_m = f(i),$$

C_a, C_w, C_m, i fiind coeficienții de portanță, rezistență și moment pentru anvergură infinită, respectiv unghiul de incidență.

Primul domeniu este cel al incidențelor mici, fără desprinderi semnificative, al doilea corespunde incidențelor mari (pînă la 90°) cu desprinderi mari, iar al treilea este un domeniu de tranziție între primele două.

În primul domeniu au fost introduse și influențele numerelor Re și ale rugozității. De efectele tridimensionale s-a ținut seama în funcție de poziția radială a profilului pe baza rezultatelor comunicate de Milborrow [11]. Influența anvergurii finite a fost luată în considerare prin aproximări care au la bază modelul de calcul al lui Prandtl [12]. Îmbunătățirea acestor aproximări se urmărește în continuare.

A doua grupă de probleme constă în calculul vitezei axiale asimptotice aval de turbină. Teoria clasică a elicei în condițiile fluidului ideal a fost formulată de Rankine (1865), Froude (1889), Glauert (1926), Betz [13] și alții, cu contribuții ale autorilor români : Carafoli, Tipei [14], Tașcă [15], O. Popa [16]. Principalele relații în cadrul acestei teorii rezultă din bilanțul energetic și relațiile impulsului scrise pentru un fir de curent :

$$dM\left(\omega + \frac{\omega_{i\infty}}{2}\right) = dF_a\left(v_\infty - \frac{v_{i\infty}}{2}\right),$$

unde

$v_{i\infty}$ este viteza axială indusă la infinit aval ;

$\omega_{i\infty}$ — viteza unghiulară indusă la infinit aval ;

v_∞ — viteza axială la infinit amonte ;

M, F_a — momentul turbinei, respectiv forța axială.

Vitezele induse în dreptul turbinei sînt :

$$v_i = \frac{v_{i\infty}}{2}; \quad \omega_i = \frac{\omega_{i\infty}}{2}$$

și factorii de interferență axială, respectiv radială :

$$a = \frac{v_i}{v_\infty}; \quad a' = \frac{\omega_i}{\omega}.$$

Aceste notații și cele uzuale în domeniul turbinelor hidraulice sînt corelate în figura 1

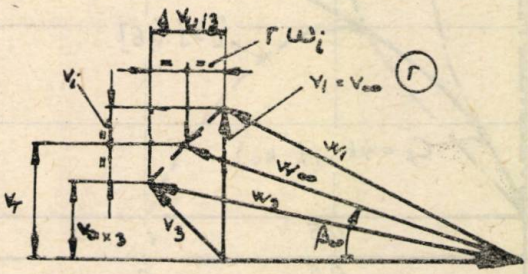


Fig. 1

În acest mod rezultă o legătură directă între circulația pe profil și viteza axială indusă, respectiv între forța axială și momentul aerodinamic. În cadrul programului, această influență este urmărită prin coeficientul vitezei axiale în dreptul turbinei (k_v). Viteza axială de calcul în dreptul turbinei va fi :

$$v_T = k_v v_\infty.$$

Relația de legătură între coeficientul forței axiale și coeficientul vitezei axiale în cadrul teoriei clasice rezultă în forma :

$$C_F = 4k_v(1 - k_v); \quad C_F = \frac{F_{ax}}{\rho \frac{v_\infty^2}{2} S}.$$

În figura 2 este reprezentată această curbă.

Acest model de calcul oferă concordanță acceptabilă cu fenomenul real doar în domeniul $k_v > 0{,}5$, respectiv $C_F < 1$, fapt sesizat încă de Glauert [17]. Cercetări mai recente oferă alte modele de calcul pentru condițiile fluidulu. vîscos și turbulent. Ainslie [18] pe baza datelor Laboratoarelor Centrale de Cercetări Electrice Leatherhead-Surrey (CERL) prezintă o relație empirică între deficitul vitezei axiale aval în

axa turbinei $\left(D_0 = 1 - \frac{v_{ax3}}{v_\infty}\right)$ și coeficientul global al forței axiale:

$$C_F = 4{,}2\, D_0(2 - D_0)\,(0{,}14 - 0{,}125 D_0)/(1 - D_0).$$

Deficitul la o rază curentă rezultă dintr-o repartiție gausiană motivată prin efecte ale turbulenței:

$$D_r = D_0\, e^{-3{,}56(r/R)^2}.$$

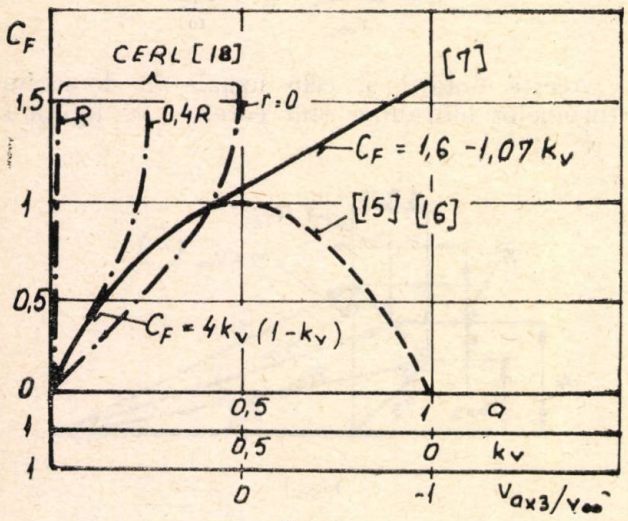


Fig. 2

Rezultate ale acestui calcul sînt redate tot în figura 2; se vede că metoda exclude domeniul $k_v < 0{,}5$. Experiențe mai recente pe elicoptere, în concordanță cu Glauert, arată că acest domeniu nu trebuie exclus.

În [7] pentru acest domeniu se citează lucrările lui Miller din 1976, în favoarea unei relații empirice de forma:

$$\frac{4}{C_F} = \frac{5}{2} + \frac{4}{3}\left[\frac{4(1-a)^2}{C_F}\right]^{5/9},$$

susținută cu date experimentale citate de Stoddard [22].

În cadrul programului întocmit de noi am utilizat rezultatele teoriei clasice la $k_v > 0{,}6$ și o aproximație liniară a curbei empirice [7, 22] în domeniul $k_v < 0{,}6$, respectiv $k_F > 1$. Aceste aproximații trebuie corectate în continuare pe baza cercetărilor privind dîrele turbinelor.

2. Cîteva rezultate ale calculelor efectuate cu ajutorul programului

În figura 3 se prezintă comparativ curbele adimensionale de moment ale turbinei GROWIAN 1 cu cele calculate de noi pentru o geometrie echivalentă constînd în înlocuirea profilelor Worthman cu profile NACA. Se confirmă în acest mod că modelul de calcul aproximează suficient de bine curbele turbinei.

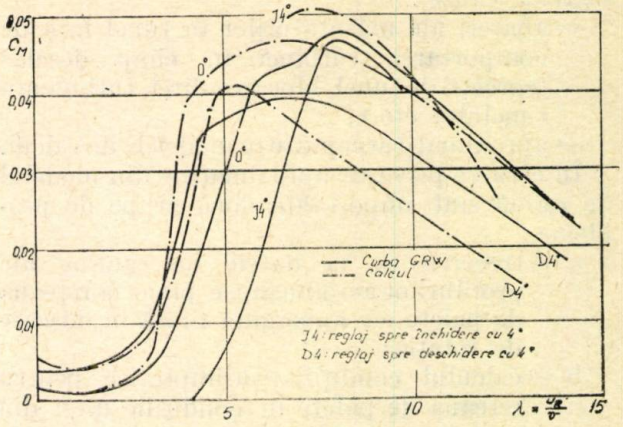


Fig. 3

În figura 4 sînt redate curbele caracteristice ale turbinei OPSM 7, rezultate prin aplicarea programului prezentat. Paletajul este proiectat în cadrul Catedrei de mașini hidraulice de la

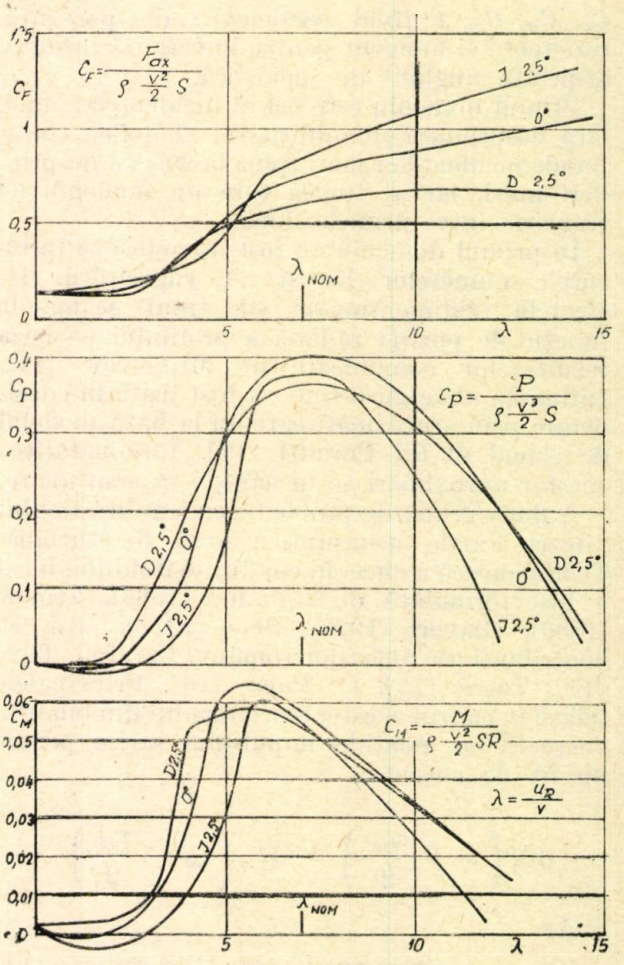


Fig. 4

I.P. Timişoara [16, 23], numărul caracteristic de calcul fiind 7. Curbele corespund la poziţia de bază a paletei (O) şi la două unghiuri reglate spre închidere, respectiv spre deschidere, cu 2,5°. Pot fi urmărite particularităţile celor trei zone de funcţionare : zona optimă în care se realizează valori maxime ale coeficienţilor de putere, zona de pornire corespunzătoare valorilor mici ale numărului caracteristic şi zona de ambalare corespunzătoare valorilor mari ale numerelor caracteristice. Poate fi analizată influenţa particularităţilor acestor zone asupra curbelor de exploatare ale turbinei.

În figura 5 poate fi urmărită influenţa torsionării paletei asupra curbelor caracteristice. Se vede că prin mărirea torsionării pot fi influenţate condiţiile de pornire ale turbinei.

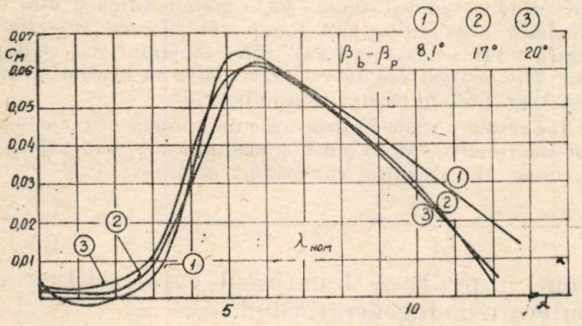


Fig. 5

Concluzii

Modelarea pe calculator a legăturii dintre forma geometrică a paletajului şi curbele caracteristice ale turbinei este deosebit de utilă în proiectarea unor turbine de vînt competitive. Comparaţia unor variante de proiect permite optimizarea soluţiilor pentru condiţiile date şi astfel fazele experimentale în tunel sau în natură pot fi desfăşurate în timp mai scurt şi pe variante mai puţine.

Bibliografie

[1] Anton, I., Gyulai, F., Albu, C. *Cercetări pentru realizarea a două agregate aeroelectrice industriale destinate sistemului energetic naţional.* Conferinţa de maşini hidraulice, Timişoara, 1985, vol. V, p. 9.

[2] Anton, I., Gyulai, F. *Optimizarea construcţiei agregatelor de vînt echipate cu turbine cu ax orizontal.* Conferinţa de maşini hidralice, Timişoara, 1985, vol. V, p. 1.

[3] Gyulai, F., Kuzman, A. F. *Aplicarea metodei portanţei la calculul turbinelor eoliene.* Conferinţa de maşini hidraulice, Timişoara, 1985, vol. V, p. 77.

[4] Gyulai, F., Albu, C., Dobîndă, E. *Posibilităţi de simplificare a construcţiei turbinelor de vînt orizontale şi implicaţii asupra caracteristicilor lor energetice.* Conferinţa „20 de ani de cercetare şi proiectare echipamente hidromecanice" CCSITEH, Timişoara, 1986, vol. II, p. 237.

[5] Gyulai, F., Raszga, C. *Utilizarea familiei de profile NACA (4 cifre) în proiectarea turbinelor de vînt.* Conferinţa „20 de ani de cercetare şi proiectare echipamente hidromecanice", CCSITEH Timişoara 1986, vol. II, p. 237.

[6] Anton, I., Gyulai, F., Albu, C. *Orientări în realizarea agregatelor aeroelectrice destinate sistemului energetic naţional.* Ses. ICEMENERG „Cercetarea tehnico-ştiinţifică în slujba realizării independenţei energetice a României", Bucureşti 27—28 sept. 1985.

[7] De Vries, O., Den Blanken, M. H. G. *Wind-tunnel tests on a model of a two-bladed horizontal-axis wind turbine* vol. I, II — National Aerospace Laboratory N.L.R., The Netherlands 1979, 1981.

[8] Abbott, Ira H., Von Doenhoff, A. E. *Theory of Wing Sections.* Dover Publ. inc. New York 1959.

[9] Riegels, F. W. *Aerodynamische Profile.* Ed. R. Oldenbourg-München 1958.

[10] Gruber, J., Blahó, M. *Mecanica fluidelor* (în l. maghiară), Tankönyvkiado Pudapest, 1956.

[11] Milborrow, D. J. *Changes in aerofoil characteristics due to radial flow on rotating blades.* Wind En. Conv. 1985 — Proc. 7 Brit. Wind. En. Ass. Conf. Oxford 27—29 March 1985, p. 85, Mech. Eng. Publ. Lmt London.

[12] Prandtl, L. *Guide á travers la mécanique des fluides.* Ed. Dunod — Paris — 1952.

[13] Betz, A. *Einführung in die Theorie der Strömungsmaschinen.* V. G. Braun — Karlsruhe — 1959.

[14] Tipei, N. *Calculul aerodinamic al aeromotoarelor.* În : Studii şi cercetări de mecanică şi matematică, tom III, nr. 3—4, 1952, p. 177, Ed. Academiei R.S.R

[15] Taşcă, D *Manualul inginerului,* vol. II, Cap. *Aerodinamica turbomaşinilor.* Ed. tehnică, Bucureşti, 1966.

[16] Popa, O. *Soluţionarea problemei mişcării homocore a fluidelor perfecte în prezenţa elicelor propulsive şi a rotoarelor eoliene.* Studii şi cercetări de mecanică aplicată, tom 43, nr. 5—6, 1984, p. 512, Ed. Academiei R.S.R.

[17] Wilson, R. E., Lissaman, P. B. S., Walker, S. N. *Aerodynamic Performance of Wind Turbines.* Oregon State Univ. Corvalis OR 1976.

[18] Ainslie, J. F. *Development of an eddy viscosity model for wind turbine wakes.* Wind En. Conv. 1985 — Proc. 7 Brit. Wind En. Ass. Conf. Oxford 27—29 March 1985, p. 61, Mech. Eng. Publ. Lmt. London.

[19] Chevray, R. *The Turbulent Wake of a Body of Revolution.* J. of Basic Eng.—Trans. ASME, June 1968, p. 275.

[20] Afjeh, A. A., Keith, Jr. T. G. *A Simplified Free Wake Method for Horizontal-Axis Wind Turbine Performance Prediction.* Trans. ASME J. of Fl. Eng. Vol. 108, Dec. 1986, p. 400.

[21] Gauert, H. *The Analysis of Experimental Results in the Windmill Brake and Vortex Ring States of an Airscrew.* Br. R. and M 1026, 1926.

[22] Stoddard, F. S. *Momentum theory and flow states for windmills.* Wind Technology Journal, 1-1977, p. 3—9.

[23] Popa, O. *Asupra dimensionării paletelor de rotoare eoliene.* Conferinţa de maşini hidrologice şi hidrodinamice. Timişoara, 1985, vol. 5, p. 57.

(Primit la 6 iulie 1989, acceptat la 14 iulie 1989)

Predeterminarea probabilistică a producției anuale de energie a unui aerogenerator prin liniarizarea caracteristicii de putere

Ing. ROMULUS SFICHI, fiz. TIBERIU ȚUGUI*

Descriptori: aerogenerator, caracteristică de putere

CZ : 621.313.12 : 621.3.016.2.

Lucrarea dezvoltă o metodă de calcul simplificată a producției medii anuale de energie a unui aerogenerator pe baza unui model matematic probabilistic al repartiției vitezelor vîntului, pentru un anumit amplasament, utilizînd distribuția Rayleigh și liniarizarea caracteristicii de putere P(v). Se are în vedere un aerogenerator cu ax vertical și se aplică metoda pe un caz practic al unui aerogenerator de tip TEV-20 amplasat într-o zonă de dealuri.

Rezultatul obținut confirmă valabilitatea metodei pentru calcule informative, preliminarea proiectării și care răspund cu suficientă exactitate nevoilor practicii tehnico-inginerești.

This paper develops a simplified calculation method for the annual mean energy output of a wind generator. The method is based on a probabilistic mathematical model of the wind speed distribution for a certain siting. It uses the Rayleigh distribution and the power characteristic linearization P(v). A vertical axis wind generator was considered. The method was tested practically, on a wind generator type TEV-20 located in a hilly area.

The results obtained corroborate the validity of the method for informative design calculations meeting with sufficient precision the technical engineering demands.

Considerații generale

În lucrările [1, 2] ne-am referit la cîteva aspecte privind inventarierea și valorificarea potențialului energetic eolian din Podișul Sucevei, adoptînd o metodă statistică simplificată de calcul al potențialului respectiv și, ca urmare, al producției anuale de energie electrică a unui aerogenerator, de tip TEV — 20 [1], inclusiv tratarea aceleiași probleme pe baza unui model probabilistic al vîntului [2].

Pornind de la adevărul confirmat că nivelul potențialului energetic eolian este elementul esențial ce caracterizează calitatea amplasamentelor sistemelor de conversie a energiei vîntului, considerăm că problema predeterminării producției anuale de energie a unor asemenea sisteme rămîne deschisă unor noi abordări ca metode și modele matematice probabilistice pentru predeterminarea cît mai exactă (mai apropiată de realitate), în faza de proiectare, a acestui parametru de care depinde în final eficiența economică globală a implementării acestor sisteme de energie neconvențională [3].

În acest context ne vom referi în cele ce urmează la predeterminarea producției anuale de energie a unui aerogenerator [5], utilizînd modelul matematic probabilistic al vîntului prin aplicarea distribuției Rayleigh [4], precum și pe baza liniarizării caracteristicii de putere a aerogeneratorului.

1. Predeterminarea producției medii anuale de energie la cupla mecanică a aerogeneratorului

Așa cum se cunoaște [4], o instalație eoliană nu poate converti decît o parte din fluxul de energie al vîntului. Randamentul acestei conversii se exprimă, de regulă, prin intermediul unui factor adimensional reprezentat prin *coeficientul de putere* $C_p(v)$, care este o funcție de viteza vîntului v.

În aceste condiții, considerînd un aerogenerator cu aria transversală activă A, coeficientul de putere fiind $C_p(v)$, iar aerul avînd densitatea ρ, puterea debitată la cupla mecanică (axul) aerogeneratorului se exprimă printr-o funcție de viteza vîntului dată de relația :

$$P(v) = C_p(v) \frac{Av^3}{2}. \qquad (1)$$

Producția medie anuală de energie corespunzătoare se poate calcula cu relația :

$$E_T = \int_{v_2}^{v_1} P(v)\, Tf(v)\, dv, \qquad (2)$$

în care v_1 și v_2 sînt vitezele de pornire și de oprire ale aerogeneratorului, iar f (v) densi-

* Ing. Romulus Sfichi, fiz. Tiberiu Țugui — IRE Suceava.

tatea de repartiție a vitezelor vîntului pe durata unui an $T = 8760$ h.

Producția medie anuală de energie a aerogeneratorului poate fi, în general, calculată prin integrarea numerică a relației (2), utilizînd densitatea de repartiție empirică a amplasamentului sau o aproximare Rayleigh sau Weibull a acesteia și caracteristica de putere $P(v)$ a turbinei eoliene (aerogeneratorului).

2. Calculul producției medii anuale de energie prin liniarizarea caracteristicii de putere și aplicarea distribuției Rayleigh

În cazul în care caracteristica de putere a aerogeneratorului se poate liniariza, iar densitatea de repartiție a vitezelor vîntului se aproximează prin cea a lui Rayleigh [1], funcția (2) se poate integra obținîndu-se o formulă de calcul al producției medii anuale de energie care răspunde cu suficientă exactitate nevoilor practicii tehnico-inginerești.

Astfel, considerînd un aerogenerator cu ax vertical [5], caracteristica de putere se poate liniariza (fig. 1), iar dreapta care exprimă funcția $P(v)$ este dată de ecuația :

$$P(v) = av + b.$$

Cum v_1 și v_n (viteza nominală a vîntului pentru care aerogeneratorul debitează puterea nominală P_n) se află pe această caracteristică, se poate scrie :

$$P(v_1) = av_1 + b = 0\,;\quad P(v_n) = P_n = av_n + b.$$

Rezolvînd sistemul format de ecuațiile de mai sus în raport cu necunoscutele a și b, se obțin :

$$a = \frac{P_n}{v_n - v_1}\,;\quad b = -\frac{v_1 P_n}{v_n - v_1}.$$

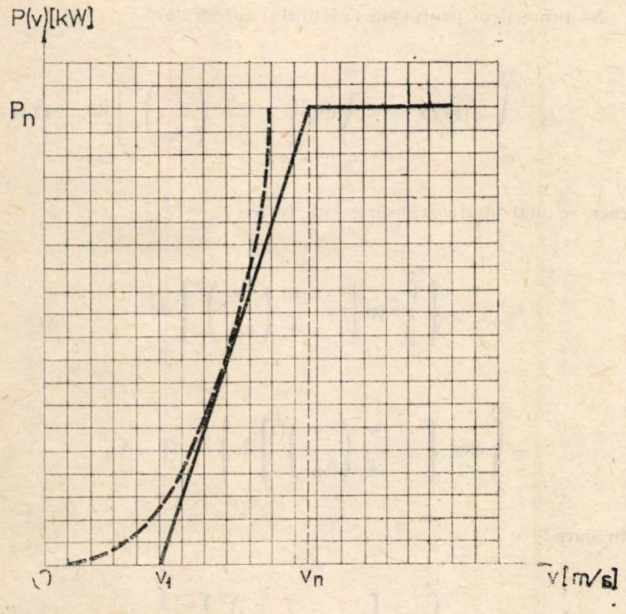


Fig. 1 Caracteristica de putere liniarizată pentru un aerogenerator cu ax vertical.

Ca urmare, dreapta care exprimă caracteristica de putere liniarizată a aerogeneratorului este dată de ecuația :

$$P(v) = P_n \frac{v - v_1}{v_n - v_1}. \tag{3}$$

Utilizînd apoi modelul matematic probabilistic pentru repartiția vitezelor vîntului exprimat prin distribuția Rayleigh :

$$F(v) = 1 - \exp\left[-\frac{\pi}{4}\left(\frac{v}{v_m}\right)^2\right], \tag{4}$$

în care v_m este viteza medie anuală a vîntului; pentru amplasamentul respectiv, rezultă densitatea de repartiție :

$$f(v) = \frac{\mathrm{d}E}{\mathrm{d}v} = \frac{\pi}{2}\cdot\frac{v}{v_m^2}\exp\left[-\frac{\pi}{4}\left(\frac{v}{v_m}\right)^2\right]. \tag{5}$$

Substituind (3) și (5) în (2) și efectuînd integrarea (anexa 1) se obține relația care exprimă producția medie anuală de energie a aerogeneratorului considerat :

$$E_T = \frac{P_n T}{v_n - v_1}\left\{v_m\left[\operatorname{erf}\left(\frac{\sqrt{\pi}}{2}\cdot\frac{v_2}{v_m}\right) - \operatorname{erf}\left(\frac{\sqrt{\pi}}{2}\cdot\frac{v_1}{v_m}\right)\right] - (v_2 - v_1)\exp\left[-\frac{\pi}{4}\left(\frac{v_2}{v_m}\right)^2\right]\right\}, \tag{6}$$

în care

$$\operatorname{erf} x = \frac{2}{\sqrt{\pi}}\int_0^x e^{-t^2}\,\mathrm{d}t, \tag{7}$$

reprezintă funcția de eroare (integrala de probabilitate), ale cărei valori sînt date în anexa 2, așa cum au rezultat prin programarea și rularea pe calculator a relației (7).

Se înțelege că pentru a determina producția medie anuală de energie electrică a unei microaerocentrale, E_T, exprimată prin (6), trebuie multiplicată prin produsul randamentelor transmisiei mecanice și a generatorului electric.

3. Aplicarea rezultatelor teoretice la un caz concret. Microaerocentrala Teișor — Mihoveni, județul Suceava

Pentru cazul amplasamentului obiectivului microaerocentralei Teișor — Mihoveni, județul Suceava [1], echipată cu o turbină de vînt cu ax vertical tip TEV — 20 [5], viteza medie multianuală a vîntului este

$v_m = 5{,}70$ m/s*. Celelalte elemente necesare aplicării relației (6) se iau din cartea tehnică a aerogeneratorului:

$$v_1 = 6 \text{ m/s}, \quad v_2 = 20 \text{ m/s}, \quad v_n = 10 \text{ m/s și}$$
$$P_n = 20 \text{ kW}.$$

Aplicînd relația (6) se obține:

$$E_T = \frac{20.8760}{10-6}\left\{5{,}70\left[\operatorname{erf}\left(\frac{\sqrt{\pi}}{2}\cdot\frac{20}{5{,}70}\right) - \operatorname{erf}\left(\frac{\sqrt{\pi}}{2}\cdot\frac{6}{5{,}70}\right)\right] - (20-6)\exp\left[-\frac{\pi}{4}\left(\frac{20}{5{,}70}\right)^2\right]\right\} = 93509 \text{ kWh}.$$

Luînd în considerare $\eta_m \simeq 0{,}9$ și $\eta_g \simeq 0{,}8$, producția medie de energie electrică a aerogeneratorului este:

$$E'_T = \eta_m \eta_g E_T = 0{,}9 \cdot 0{,}8 \cdot 93509 = 67\,326 \text{ kWh}.$$

Rezultatul obținut se apropie de celelalte rezultate obținute prin alte metode simplificate de calcul [1, 2], aproximarea fiind însă prin exces. Pentru calculele preliminare, orientative și care deci preced proiectarea, metoda elaborată este acceptabilă, ea satisfăcînd nevoile practicii tehnico-inginerești.

Fără îndoială că pentru operativitatea calculului numeric privind aplicarea relației (6) se poate utiliza un program adecvat și rula pe calculatorul electronic, operații care nu prezintă nici o dificultate.

ANEXA 1

Calculul $E_T = \int_{v_1}^{v_2} P(v) T f(v)\, dv$

Substituind (3) în (2) se obține

$$I_T = \frac{P_n T}{v_n - v_1}\left[\int_{v_1}^{v_2} v f(v)\, dv - v_1 \int_{v_1}^{v_2} f(v)\, dv\right] \quad (8)$$

Prin urmare este necesar să se calculeze două integrale:

$$I_1 = \int_{v_1}^{v_2} v f(v)\, dv; \quad I_2 = \int_{v_1}^{v_2} f(v)\, dv. \quad (9)$$

Ținînd seama de (5), rezultă că primitiva funcției $f(v)$ poate fi $\varphi(v)$, astfel că $\varphi'(v) = f(v)$, adică:

$$\varphi(v) = -\exp\left[-\frac{\pi}{4}\left(\frac{v}{v_m}\right)^2\right]. \quad (10)$$

În aceste condiții:

$$I_1 = \int_{v_1}^{v_2} v f(v)\, dv = \int_{v_1}^{v_2} v\varphi'(v)\, dv,$$

care se rezolvă aplicînd procedeul integrării prin părți:

$$I_1 = \left| v\varphi(v) \right|_{v_1}^{v_2} - \int_{v_1}^{v_2} \varphi(v)\, dv \quad (11)$$

$$I_2 = \left| \varphi(v) \right|_{v_1}^{v_2} \quad (12)$$

Luînd în considerare (9), (11) și (12), relația (8) devine:

$$E_T = \frac{P_n T}{v_n - v_1}(I_1 - v_1 I_2) = \frac{P_n T}{v_n - v_1}\left[(v_2 - v_1)\varphi(v_2) - \int_{v_1}^{v_2} \varphi(v)\, dv\right]. \quad (13)$$

Se pune deci problema calculului integralei:

$$I_3 = \int_{v_1}^{v_2} \varphi(v)\, dv = -\int_{v_1}^{v_2} \exp\left[-\frac{\pi}{4}\left(\frac{v}{v_m}\right)^2\right] dv, \quad (14)$$

care se mai poate transcrie sub forma:

$$I_3 = -\left\{\int_0^{v_2} \exp\left[-\frac{\pi}{4}\left(\frac{v}{v_m}\right)^2\right] dv - \int_0^{v_1} \exp\left[-\frac{\pi}{4}\left(\frac{v}{v_m}\right)^2\right] dv\right\} = B - A,$$

în care:

$$A = \int_0^{v_2} \exp\left[-\frac{\pi}{4}\left(\frac{v}{v_m}\right)^2\right] dv \quad (15)$$

---

* Avînd în vedere zonarea cunoscută la nivel macroteritorial privind viteza medie multianuală a vîntului (în jur de 4 m/s), valoarea prezentată de autori apare prea ridicată, dar își păstrează valabilitatea pentru exemplificarea modului de calcul (nota redacției).

$$B = \int_0^{v_1} \exp\left[-\frac{\pi}{4}\left(\frac{v}{v_m}\right)^2\right] dv \qquad (16)$$

Utilizînd schimbarea de variabilă

$$\frac{\pi}{4}\left(\frac{v}{v_m}\right)^2 = t^2 \Rightarrow t^2 = \alpha v^2; \quad \alpha = \frac{\pi}{4v_m^2},$$

adică

$$t = v\sqrt{\alpha} \Rightarrow dv = \frac{dt}{\sqrt{\alpha}},$$

Integralele A și B se retranscriu sub forma :

$$A = \frac{1}{\sqrt{\alpha}} \int_0^{v_2\sqrt{\alpha}} e^{-t^2} dt = \frac{\sqrt{\pi}}{2\sqrt{\alpha}} \operatorname{erf}(v_2\sqrt{\alpha}), \qquad (17)$$

$$B = \frac{\sqrt{\pi}}{2\sqrt{\alpha}} \operatorname{erf}(v_1\sqrt{\alpha}). \qquad (18)$$

Dar :

$$\sqrt{\alpha} = \frac{\sqrt{\pi}}{2v_m},$$

astfel că (17) și (18) devin :

$$A = v_m \operatorname{erf}\left(\frac{\sqrt{\pi}}{2} \cdot \frac{v_2}{v_m}\right).$$

$$B = v_m \operatorname{erf}\left(\frac{\sqrt{\pi}}{2} \cdot \frac{v_1}{v_m}\right).$$

Așadar :

$$I_3 = v_m\left[\operatorname{erf}\left(\frac{\sqrt{\pi}}{2}\frac{v_1}{v_m}\right) - \operatorname{erf}\left(\frac{\sqrt{\pi}}{2}\frac{v_2}{v_m}\right)\right] \qquad (19)$$

Substituind în final (10) și (19) în (13) se obține într-adevăr relația (6).

ANEXA 2

Funcția erf (x) definită prin (7) este obținută ca valori numerice pe calculatorul electronic ca în tabelul 1.

Tabelul 1

VALORILE $\operatorname{erf} x = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-t^2} dt$

x	Δ erf x	erf x	x	Δ erf x	erf x	x	Δ erf x	erf x
0,1	0,1246	0,1246	1,1	0,0375	0,8802	2,1	0,0017	0,9970
0,2	0,1102	0,2227	1,2	0,0301	0,9103	2,2	0,0011	0,9981
0,3	0,1059	0,3286	1,3	0,0236	0,9340	2,3	0,0007	0,9988
0,4	0,0997	0,4284	1,4	0,0182	0,9523	2,4	0,0004	0,9993
0,5	0,0921	0,5205	1,5	0,0138	0,9661	2,5	0,0002	0,9996
0,6	0,0833	0,6038	1,6	0,0102	0,9763	2,6	0,0001	0,9997
0,7	0,0739	0,6678	1,7	0,0074	0,9838	2,7	0,0001	0,9998
0,8	0,0643	0,7421	1,8	0,0053	0,9891	2,8	0,00006	0,9999
0,9	0,0548	0,7969	1,9	0,0037	0,9928	2,9	0,00003	0,99997
1,0	0,0457	0,8427	2,0	0,0025	0,9953	3,0	0,00002	0,99999
						3,1	0,00001	1,0000

Bibliografie

[1] Sfichi, R. *Aspecte privind inventarierea și valorificarea potențialului energetic eolian din Podișul Sucevei.* În : Energetica, vol. 33, nr. 9/1985, p. 411—415.

[2] Sfichi, R., Țugui, T. *Aplicarea unor metode probabilistice simplificate la predeterminarea producției anuale de energie a aerogeneratoarelor.* În : Energetica, vol. 35, nr. 11/1987, p. 502—505.

[3] Sfichi, R. *Asupra unor premise de valorificare a potențialului energetic eolian în Podișul Sucevei.* În : Energetica supliment, vol. 4, anul X, 1985, p. 18—24.

[4] Ilie, Vl. ș.a. *Utilizarea energiei vîntului.* Editura Tehnică, București, 1984.

[5] * * * ICPITMUA — Sector Brașov. *Catalog de instalații pentru utilizarea energiei vîntului.* Brașov, 1985.

(Primit la 2 aprilie 1988, acceptat la 8 martie 1989)

NOTA REDACȚIEI

Articolul prezentat mai sus demonstrează dorința autorilor de a găsi metode de calcul simplificate și practice pentru predeterminarea producției de energie a unui aerogenerator. Autorii au folosit pentru densitatea de repartiție a vitezelor vîntului modelul funcției lui Rayleigh, ceea ce este admisibil atunci cînd nu se cunoaște decît viteza medie multianuală a vîntului în amplasament. Distribuția Rayleigh echivalează cu o distribuție Weibull cu factor de formă 2. În această simplificare, însă, în cazul unor viteze medii uzuale ale vîntului de pînă la 5—6 m/s, ne așteptăm la rezultate energetice aproximative, deoarece în amplasamentele din țara noastră valorile tipice ale factorului de formă sînt cuprinse între 1, 2 și 1,8. Liniarizarea efectuată de autori pentru aproximarea caracteristicii de putere a aerogeneratorului cu ax vertical prin fixarea celor două puncte corespunzătoare valorilor v_1 și v_m este discutabilă, mai ales în intervalul (v_n, v_2), așa cum se vede în figura 1 și în exemplul de calcul, unde $v_2 \gg v_n$ și devierile dreptei de liniarizare față de caracteristica garantată sînt destul de mari. Autorii nu fac referiri la acest aspect.

Pe de altă parte, în aplicația numerică prezentată, valoarea medie multianuală a vitezei vîntului este prea ridicată față de datele cunoscute la nivel macroteritorial. De aceea, datele de calcul și rezultatele trebuie considerate numai ca exemplificare a metodelor.

50 DE ANI DE LA ADOPTAREA SISTEMULUI INTERNAȚIONAL DE UNITĂȚI DE MĂSURĂ GIORGI

Buletinul Comisiei Electrotehnice Internaționale CEI Nr. 115/1989 menționează: *„Anul 1988 a marcat în calendarul electrotehnicii aniversarea a 50 de ani de la adoptarea în metrologie de către CEI a sistemului Giorgi. Sistemul a fost conceput de profesorul inginer italian Giovanni Giorgi și Comitetul Național Italian al CEI a sărbătorit aniversarea printr-un simpozion ținut la Institutul Politehnic din Torino la 21—22 septembrie 1988"*.

Revista Energetica își aduce și ea omagiul pentru marea realizare a lui Giovanni Giorgi. Spre cunoașterea contextului în care a fost propus și adoptat acest sistem, devenit astăzi sistemul SI, inserăm articolul care urmează, întocmit de istoriograful cel mai autorizat al energeticii și electrotehnicii românești. Articolul este bazat pe o documentare cuprinzînd materiale originale din perioada elaborării sistemului de unități Giorgi.

Redacția

Introducere

Dezvoltarea științelor fizice, bazate pe mărimi măsurabile, implică stabilirea unor unități de măsură și materializarea în etaloane reproductibile.

„Măsurarea reprezintă o etapă importantă și totodată o caracteristică permanentă a procesului cognitiv, un element central al cunoașterii științifice" [7].

În fizică se deosebesc mărimi fundamentale, a căror definire este independentă de alte mărimi, și mărimi derivate, care se definesc prin mărimile fundamentale. Celor două feluri de mărimi le corespund două feluri de unități: fundamentale și derivate.

Constituirea sistemelor CGS [1 și 3]

Dezvoltarea telegrafiei cu fir, mai ales a celei prin cabluri submarine, a necesitat reglementări precise ale unităților de măsură în electricitate și magnetism, spre a se înlesni studiile și aplicațiile.

Inițiativa acestei acțiuni a luat-o British Association Commitee on Electrical Units, care a desfășurat o intensă activitate, constituind succesiv două comitete științifice: primul în anul 1862, iar al doilea în anul 1871. Din acesta din urmă au făcut parte somități științifice, între care W. Thomson (Lord Kelvin) și Maxwell, după ideile căruia s-a adoptat, în anul 1873, sistemul de unități CGS, adică cel bazat pe unitățile fundamentale: centimetru, gram-masă și secundă.

Concepția lui Maxwell la elaborarea acestui sistem a fost următoarea [1/II/620]: *„Orice mărime electromagnetică poate fi definită în raport cu unitățile fundamentale (adoptate de mecanică) de lungime, masă și timp"*.

Plecînd de la definiția unității de sarcină electrică, astfel cum rezultă din relația $F_e = q_1 q_2 / r^2$, se obțin definițiile unităților tuturor celorlalte mărimi electromagnetice; de exemplu, cîmpul electric din relația $E = F_e/q$; *sistemul de unități rezultat este cel electrostatic.*

Plecînd de la definiția unității de masă magnetică, astfel cum rezultă din relația $F_m = m_1 m_2 / r^2$, se obțin alte unități ale tuturor mărimilor electromagnetice; *sistemul de unități rezultat este cel electromagnetic.*

Cele două sisteme sînt neconcordante.

„Iraționalitățile" sistemului CGS [3]

De-abia statuat, sistemul CGS a început să-și arate neajunsurile, datorită, cum se exprimă Giovanni Giorgi, următoarelor „iraționalități":

1. În multe relații privind electricitatea și magnetismul apare termenul 4π, deși acele relații nu se refereau la cilindru, sferă sau cerc. Ca exemplu:

$$\bar{B} = (\bar{H} + 4\pi\bar{M}).$$

Această iraționalitate a fost semnalată în 1882—1883 de O. Heaviside (în articolul *The eruption of* 4π și în altele următoare) și reluată apoi de alți fizicieni.

Originea sa constă în adoptarea ca bază a sistemului CGS a relației lui Coulomb sub forma $F = q_1 q_2 / r^2$, viciată de lipsa unui termen relativ la mediu.

A „raționaliza" un sistem de unități nu înseamnă a face să dispară 4π, ci a-l deplasa spre a apare în relațiile care se referă la sferă și la cilindru, de exemplu în expresia capacității condensatorului sferic. Mai apare și în alte relații ca, de exemplu, în cele privind forța coulombiană $F_e = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_1 q_2}{r^2}$ și forța dintre doi curenți electrici $F_m = \frac{\mu_0}{4\pi}\cdot\frac{2 i_1 i_2 l}{r}$, ambele în scrierea actuală raționalizată.

Heaviside dînd formă definitivă ecuațiilor lui Maxwell (*Electromagnetic Theory*, 1891), le-a și raționalizat, ceea ce a atras atenția asupra operației în sine și asupra avantajelor sale (Lodge, Larmor, Williams).

2. Sistemul CGS este dual, ceea ce poate produce confuzii la aplicare. Deși oamenii de știință de atunci și-au dat seama de neajunsul de a lucra cu două sisteme, au considerat că experiența științifică va dovedi care din amîndouă corespunde realității fizice.

Nu s-a ajuns însă la un asemenea rezultat, dimpotrivă s-a făcut constatarea importantă că raportul dintre unitatea CGSem de sarcină, respectiv de curent și unitatea CGSes de sarcină, respectiv de curent, este egală cu valoarea numerică a vitezei luminii în vid, exprimată în cm/s.

3. Sistemul CGS are la bază trei unități fundamentale, cu caracter geometrico-mecanic. Deși în fizica fenomenelor electrice și magnetice intervin mărimi ireductibile la cele geometrico-mecanice, prin conformare la tradiția în

știința măsurătorilor de-a se raporta dimensiunile fizice numai la L, M, T, s-au adoptat și pentru acest sistem cele trei unități ca fundamentale.

„Absurditatea de-a se ajunge la separarea între electrostatic și electromagnetic provine din această premisă artificială".

În plus nu s-a ținut seama că mediul în care se produc fenomenele electrice și magnetice are proprietăți fizice; chiar *„spațiul lipsit de materie ponderabilă posedă proprietăți fizice: poate să se încarce cu energie și poate transmite perturbări cu o viteză determinată".* De aceea spațiul vid este caracterizat prin permitivitate ε_0 și prin permeabilitate μ_0.

4. Unitățile derivate ale sistemului CGS sînt prea mari sau prea mici față de mărimile uzuale în tehnică, ceea ce constituie un mare neajuns practic. A exprima în tehnică forțele în dine și energia în ergi nu este de conceput. Această „iraționalitate" își are cauza în adoptarea pentru unitățile fundamentale de lungime și masă a centimetrului și gramului masă.

Dintre iraționalități ultima a fost repede eliminată prin introducerea în utilizare a unor unități numite practice, corespunzătoare necesităților uzuale, deduse înmulțind cu 10 la diferite puteri unitățile corespunzătoare din sistemul CGSem, soluție propusă de Committee on Electric Standard of the British Association. Astfel au fost adoptate mai întîi: coulombul — 10^{-1}; amperul — 10^{-1}; ohmul — 10^{9}; voltul — 10^{8} și faradul — 10^{-7} unități CGSem. Aceste unități au fost aprobate la primul Congres Internațional al Electricienilor, ținut la Paris în anul 1881 *), au urmat wattul **) și joulul, precum și o unitate pentru autoinductanță, adoptate la al doilea Congres al Electricienilor, ținut tot la Paris în anul 1889. La Congresul de la Chicago din anul 1893, au fost confirmate primele cinci unități, s-a dat unității de inducție numele de henry și s-au considerat wattul și joulul unități CGS.

Unitățile practice nu constituiau un sistem, dar Maxwell sesizase că ele pot totuși constitui un sistem absolut dacă pentru mărimile L și M s-ar adopta unități potrivite. El a făcut această încercare utilizînd ca unități: 10^{7} m, 10^{-2} grame și secunda, dar a rezultat un sistem inaplicabil în practică. Totuși Maxwell lansase o idee justă, care va fi reluată de Giovanni Giorgi.

Necesitatea unei noi reglementări a unităților de măsură apărea necesară și se cerea ca Asociația Britanică, care avusese rolul hotărîtor la elaborarea sistemului CGS și a unităților practice, să organizeze noua acțiune.

În aceste condiții a început în știința electricității o perioadă lungă de studii și dezbateri, la care a luat parte un mare număr de electrotehnicieni și fizicieni, între care și multe somități științifice.

Totodată această perioadă este și de clarificări și progrese științifice referitoare la exprimarea relațiilor fenomenelor electrice și magnetice. Nu a fost însă întotdeauna o concordanță de concepții între fiziceni și electrotehnicieni. Cei dintîi erau în general satisfăcuți în sistemul CGS în cele două variante sau de sistemul CGS în varianta hibridă Gauss. Un exemplu de majoră deosebire de concepție este acela că fizicienii considerau inducția magnetică $\bar{B}$ și intensitatea cîmpului magnetic $\bar{H}$ mărimi de aceeași natură fizică, permeabilitatea fiind socotită un factor numeric.

Giovanni Giorgi și concepția sa [3]

Spre sfîrșitul secolului trecut, un tînăr inginer, preocupat și el de problema unităților, ajunsese la o concepție care va fi în final unanim adoptată.

Născut la 27.11.1871, la Lucca, Giovanni Giorgi a absolvit învățămîntul politehnic la Roma, după care a desfășurat o activitate științifică și tehnică deosebit de amplă și diversificată. A lucrat în domeniul electrificării (primele centrale hidroelectrice din Italia, centrale electrice în diferite orașe, a fost organizatorul producerii și distribuției energiei electrice și a rețelei de tramvaie la Roma etc.) și în învățămîntul superior (profesor la Facultatea de Fizico-Matematică din Roma, la universitățile din Cagliari și din Palermo etc.). A publicat aproape 400 de lucrări științifice și tehnice, a fost titular al mai multor distincții și membru al numeroase institute științifice europene. A încetat din viață în anul 1950.

Concepția lui Giorgi în ceea ce privește crearea unui nou sistem era sintetizată de el însuși [3]:

„Remediul la întreaga complicație și confuzie ale stării actuale, la pluralitatea și la deficiențele fiecăruia dintre toate sistemele de unități intrate în uz, este unul singur și este evident: să se renunțe simultan la $\mu_0 = 1$ (sau respectiv $= 1/4\pi$) și la ε_0 (sau respectiv $= 1/4\pi$) și să se accepte un sistem care să nu fie nici electrostatic și nici electromagnetic.

Fiind cu toții de acord să se admită în afara celor trei dimensiuni mecanice fundamentale încă o dimensiune cu caracter electric sau magnetic, ireductibilă la cele trei, înseamnă că acceptăm principiul că acestei a patra dimensiuni trebuie să-i corespundă o a patra unitate, și ea arbitrară, cum sînt arbitrare unitățile de lungime, de masă și de timp și să fie realizată printr-un etalon material.

Nu este necesar să se inventeze o unitate nouă, ci se poate recurge la cele existente.

Dacă abandonăm construcția de tip electromagnetic, grupul de unități electrotehnice în uz, volt, ohm, amper, farad, henry, amper spiră etc., poate fi completat cu metru, kg-masă și secundă pentru a forma un sistem absolut raționalizat. În acest scop, condiția care mai trebuie satisfăcută este ca unitățile electrice de energie și de putere, adică joulul și wattul să coincidă cu unitățile de energie și putere mecanice; dar metrul, kilogramul-masă și secunda conduc exact la joul și watt. S-ar fi obținut același rezultat luînd în locul metrului și al kilogramului, decimetrul și chintalul sau alte asemenea cupluri; dar este evident că alegerea metru-kg este cea mai avantajoasă.

Cu această sistematizare unitățile practice devin unități absolute, desprinse de orice legătură cu unitățile CGS. Natural, una oarecare dintre unitățile electrotehnice poate fi considerată ca fundamentală.

Din punct de vedere teoretic, și pentru scopuri didactice și pentru scrierea dimensională, este preferabilă unitatea de cantitate de electricitate, coulombul, subînțeleasă, definită pe cale electrolitică (adică vom spune astfel: se numește coulomb acea unitate de cantitate de electricitate care la origine era echivalentă cu un anumit multiplu al unității CGS em, și în prezent este definită prin depunerea a 1,118 mg de argint în anumite condiții). Dar, pentru rațiuni pe care le vom expune mai departe, apare că din punct de vedere practic și metrologic este preferabil să se considere ca unitate fundamentală ohmul; sistemul propus de mine poate fi atunci notat sistem MKSΩ".

Giorgi considera că sistemul, a cărui aplicare generală o susținea, prezenta avantajele: simplu de însușit, unitățile mărimilor fizice mecanice, electrice și magnetice convenabile, calculele practice simplificate.

După reflecții de peste 6 ani a prezentat la reuniunea pe care o ținea Associazione Elettrotecnica Italiana AEI la Roma, la 13 octombrie 1901, comunicarea *„Unita razionali di elettromagnetismo"*, repetată apoi în 1902 la Societa Italiana di Fisica. A fost numită o comisie de oameni de știință, care, la sesiunea AEI din 1902, a avizat favorabil propunerea lui Giorgi.

Reviste de specialitate ca Elektrotechnische Zeitschrift și The Electrician au refuzat însă publicarea. *„Era conspirația tăcerii, cea mai opresivă dintre conjurații, contra căreia trebuia să lupte în Franța, Germania și Anglia"* (G. Giorgi).

*) La acest congres s-a schimbat și numele inițial de weber în amper, datorită propunerii lui Helmholtz.

**) James Watt este și autorul unității cal putere (horse power).

Lupta ştiinţifică a lui Giorgi [3, 8 şi 9]

A durat peste 30 de ani, constînd din elaborarea de lucrări, tipărite sau expuse oral, în care explica şi susţinea sistemul său, răspundea la contrapropuneri.

Participanţii reuniunilor erau în general personalităţi ale fizicii şi electrotehnicii, iar discuţiile se referau la toate aspectele aferente unui sistem de unităţi : mărimile fundamentale şi unităţile fundamentale, raţionalizarea, definirea noilor unităţi, etaloanele mărimilor reproductibile, numirile unităţilor noi, modul de introducere a permeabilităţii şi permitivităţii spaţiului liber etc.

Problema mărimilor fundamentale şi a unităţilor respective trebuia cea dintîi clarificată. Deşi era aproape unanim admisă necesitatea a patru mărimi fundamentale, asupra alegerii lor erau mari divergenţe, aşa cum se constată din următoarele soluţii propuse :

1. A. W. Rucker, în anul 1889, permeabilitatea şi permitivitatea spaţiului liber să fie adoptate ca mărimi fundamentale ;
2. André Blondel (1896) : centimetru, secundă, ohm şi amper ;
3. Bennet — Dellinger : centimetru, 10^7 grame, secundă şi $\frac{1}{4\pi} 10^9$ (permeabilitatea spaţiului liber) ;
4. E. Brylinski : sistemul oficial francez (metru, tonă, secundă), completat cu volt ;
5. P. Kalantaroff : metru, secundă, coulomb, weber ;
6. George A. Campbell : metru, secundă, watt, coulomb ;
7. Sears : MKS plus amperul ;
8—9. J. Wennerberg şi J. Wallot : soluţii variate ;

Au fos şi două propuneri româneşti.

10. prof. Dionisie Germani : centimetru, 10^9 grame, decacoulomb, secundă.
11. Eugen Bodea (inginer la Intreprinderea de Gaz şi de Electricitate din Bucureşti) : metru, secundă, coulomb şi pramaxwell.

Raţionalizarea era o operaţie socotită prea radicală şi neacceptată de fizicieni, mai ales în forma propusă de Heaviside de-a modifica unităţile practice aflate în uz. Sistemul Giorgi era însă în măsură să o realizeze.

Avantajele soluţiei Giorgi deveneau din ce în ce mai evidente şi, cu ocazia a variate reuniuni tehnico-ştiinţifice, sistemul era socotit optim, dar nu se trecea la acţiuni practice de introducere a lui în uz.

Acţiunile decisive [3, 9]

Abia după anul 1930, cînd a avut loc la Stockholm o sesiune plenară a CEI, acţiunile pentru reglementarea unităţilor electrice şi magnetice au intrat într-o fază decisivă.

În anul 1933, la iniţiativa prof. A. E. Kennelly, electricienii şi fizicienii americani au decis un „front unic" pentru susţinerea adoptării sistemului Giorgi şi, la solicitarea lor, s-a ţinut în octombrie 1933, la Paris, o şedinţă la care a luat parte un grup de reprezentanţi ai Comisiei Electrotehnice Internaţionale—CEI, precum şi Henry Abraham, din partea Asociaţiei Internaţionale de Fizică.

Era o conjunctură favorabilă pentru sistemul Giorgi şi s-a hotărît invitarea comitetelor electrotehnice naţionale să se pronunţe în vederea unei sesiuni plenare a CEI. Aceasta a avut loc în anul 1935, la Scheveningen, în Olanda, şi la Bruxelles, în Belgia ; atunci s-a decis în unanimitate adoptarea internaţională a sistemului cu patru unităţi (Giorgi), înlocuind atît sistemele CGS, cît şi unităţile practice şi internaţionale. Totodată s-a mai decis ca : problema raţionalizării să rămînă deschisă, fiecare fiind liber să utilizeze sau nu relaţii raţionalizate, alegerea celei de a patra unităţi să se stabilească ulterior şi sistemul să poarte numele Giorgi.

Acestor hotărîri le-a urmat o activitate intensă de examinare mai profundă a consecinţelor.

La 22 iunie 1938 s-a întrunit în Anglia, la Torquay, şedinţa Comisiei Electrotehnice Internaţionale în care s-a decis în unanimitate că poate fi adoptată a patra unitate, oricare dintre unităţile practice, reprezentate prin etaloanele stabilite de Biroul Internaţional de Măsuri şi Greutăţi, deci fără preferinţă pentru unitatea de rezistenţă sau de curent.

S-au soluţionat prin hotărîri, aprobate în majoritate, şi alte probleme : modul de definire a unităţilor (ţinînd seama că wattul exprimat electric este cu puţin mai mare decît wattul exprimat mecanic şi de faptul că în vigoare erau „unităţile internaţionale" bazate pe etaloane), admiterea valorii $4\pi \cdot 10^{-7}$ pentru permeabilitatea spaţiului liber etc.

În urma acestei reuniuni, oficializarea noului sistem de unităţi, cu toate acţiunile aferente, trecea în sarcina Biroului Internaţional de Măsuri şi Greutăţi.

Al doilea război mondial a întîrziat acţiunile acestui for pînă în anul 1946.

Participarea României [8 şi 9]

La activitatea internaţională de stabilire a sistemului de unităţi a participat şi România, prin Comitetul Electrotehnic Român — CER. Acest organism a fost înfiinţat la 4.01.1927, sub patronajul Institutului Român de Energie — IRE şi afiliat Comisiei Electrotehnice Internaţionale — CEI, cu sediul la Londra. Primul birou de conducere al CER a fost constituit din următorii profesori universitari : preşedinte Dragomir Hurmuzescu, căruia i-a urmat N. Vasilescu-Karpen, vicepreşedinte C. Buşilă ; membri : C. Budeanu, D. Leonida şi P. Andronescu, iar secretar Alex. Harlat.

La activitatea privind unităţile de măsură au participat, în principal, cadre didactice ale politehnicilor din Bucureşti şi Timişoara, precum şi unii ingineri atraşi de această problematică.

În cadrul CER, în consens cu lucrările organismelor internaţionale şi ale comitetelor naţionale ale CEI, s-au desfăşurat următoarele acţiuni privitoare la unităţile de măsură :

— s-au elaborat studii asupra sistemelor de unităţi de către profesorii Plauţiu Andronescu, Constantin Budeanu (cu o contribuţie considerabilă), N. Vasilescu-Karpen şi conf. I. Constantinescu (parte sînt menţionate în bibliografia lucrărilor consultate de Giorgi) ;

— s-au propus sisteme de unităţi de către prof. Dionisie Germani şi ing. Eugen Bodea, care au fost prezentate la reuniuni internaţionale, publicate şi în reviste de specialitate ;

— s-au dezbătut în şedinţe probleme ştiinţifice ridicate în cadrul CEI ;

— s-a organizat participarea la sesiuni internaţionale.

Dintre manifestările internaţionale la care au fost prezentate comunicări ale CER sînt de menţionat sesiunea plenară a CEI, ţinută în anul 1930 la Stockholm şi Congresul Internaţional de Electricitate, de la Paris, din anul 1932.

La sesiunea de la Stockholm s-au luat unele hotărîri dintre care sînt de semnalat : permeabilitatea este o mărime fizică, iar nu un simplu coeficient şi ca atare inducţia magnetică $\bar{B}$ şi intensitatea cîmpului magnetic $\bar{H}$ sînt

mărimi diferite, *adoptarea denumirii de var (propusă de prof. C. Budeanu) pentru unitatea de putere reactivă*, precum și adoptarea denumirilor de maxwell, gauss, oersted și gilbert pentru unitățile de flux magnetic, inducție, cîmp și forță magnetomotoare, în sistemul CGSem, neraționalizat.

La Congresul Internațional de Electricitate de la Paris, din anul 1932, CER a participat cu 10 lucrări, dintre care cinci privitoare la mărimi și unități de măsură și anume:

— importanta comunicare a prof. N. Vasilescu-Karpen, ales vicepreședinte al Congresului, *„Asupra unei noi expuneri a fenomenelor electromagnetice. Inutilitatea noțiunii de masă magnetică"*, justificată prin faptul că: noțiunile de cîmp și flux magnetic, energia potențială a cîmpului, forțele electromagnetice și teoria magneților decurg din legea experimentală a inducției electromagnetice;

— comunicări ale prof. Dionisie Germani și Constantin Budeanu, cuprinzînd studii asupra sistemelor de unități;

— propunerea unui *„Sistem de unități practice, dotat cu patru dimensiuni fundamentale"* a ing. Eugen Bodea.

Sînt de menționat următoarele:

— deși Dionisie Germani era profesor de hidraulică s-a specializat și în electricitate urmînd, la vîrstă înaintată, Școala Superioară de Electricitate de la Paris;

— inginerul E. Bodea a dus o lungă corespondență cu savantul sovietic Kalantaroff, sistemele propuse de ambii prezentînd afinități.

La istorica ședință din 22 iunie 1938 de la Torquay, punctul de vedere prezentat de Comitetul Electrotehnic Român a fost:

— să se adopte sistemul MKS (în forma propusă de Giorgi) cu o a patra unitate fundamentală, care poate fi aleasă în ordine de preferință: coulombul sau amperul;

— noul sistem de unități să poarte numele lui Giorgi.

Preocupările privind sistemul unităților de măsură au continuat în România și după al doilea război mondial. Școala românească electrotehnică în frunte cu profesorul Remus Rădulet a unificat scrierea raționalizată și neraționalizată a relațiilor introducînd un coeficient de raționalizare, care are valoarea 4π în cazul regimului neraționalizat și 1 în cazul regimului raționalizat.

Constituirea sistemului internațional de unități de măsură- SI[6]

În urma stabilirii sistemului de unități Giorgi, astfel cum s-a expus, a revenit Conferinței Generale de Măsură și Greutăți să ia măsurile finale și să statueze aplicarea lui internațională.

Acțiunile principale desfășurate în acest scop au fost următoarele:

— în anul 1948 au fost emise rezoluții cu caracter de recomandări generale;

— în anul 1954 s-a decis ca sistemul practic de unități (avînd la bază sistemul Giorgi) să fie extins prin adoptarea a șapte mărimi fundamentale: lungime, masă, timp, intensitate a curentului electric, temperatura termodinamică, cantitatea de substanță și intensitatea luminoasă;

— în anul 1960 a fost adoptată denumirea de sistem internațional de unități-SI.

Acest sistem este aplicabil în toate domeniile științei și tehnicii și a fost adoptat în 125 de țări; în România a fost legiferat prin Hotărîrea Consiliului de Miniștri nr. 550/30.08.1961.

Concluzie

Concepția lui Giovanni Giorgi, formulată la începutul secolului, și-a găsit, după 60 de ani, întregirea în sistemul internațional de unități-SI.

Ing. Paul Cartianu

Bibliografie

[1] Maxwell, J. C. *A Treatise on Electricity and Magnetism.* Oxford at the Clarendon Press, 1904

[2] Thomson, S. P. *Le but et l'oeuvre de la Commission Electrotechnique Internationale.* Discurs la Institution of Electrical Engineers, 1914, publicat în Buletinul IRE nr. 3—4/1933, p. 1113—1128

[3] Giorgi, G. *Verso l'elettrotecnica moderna.* Libreria Editrice Politecnica Milano, 1949

[4] Iscrulescu, I., Ispășoiu, Gh,. Petrescu, V. *Sistemul internațional de unități de măsură SI. Generalizarea aplicării sale.* Editura Tehnică, București, 1970.

[6] xxx *Sistemul Internațional de Unități SI.* Traducere după a 4-a ediție elaborată de Biroul Internațional de Măsuri și Greutăți, Editura Didactică și Pedagogică, 1982

[7] Iliescu,C.,Ionescu—Golovanov, C.,Szabo, W., Szkékely, I., Bărbulescu, D. *Măsuri electrice și electronice.* Editura Didactică și Pedagogică, București, 1983

[8] Budeanu, C. I. *18 studii privind unitățile de măsură și aspecte științifice conexe.* Studii apărute între 1931—1958

[9] xxx *Comitetul Electrotehnic Român. Dările de seamă ale ședințelor ținute în anii 1983—1989.* In: Buletinul IRE nr. 1/1939.

CEA DE A VI-A CONSFĂTUIRE NAȚIONALĂ CU TEMA „UTILIZAREA RAȚIONALĂ A ENERGIEI ÎN INDUSTRIE, TRANSPORTURI, CONSTRUCȚII ȘI AGRICULTURĂ"

Oradea, 8—9 iunie 1989

Consfătuirea a fost organizată de MEE, ICCE, CIPEET, CIRE, IRE Oradea, IE Oradea și Institutul de Subingineri Oradea și a avut loc în municipiul Oradea, în perioada 8—9 iunie 1989.

Lucrările consfătuirii s-au desfășurat în plen și în cadrul a trei secții, și anume :

— secția I : *Economisirea și gospodărirea rațională a energiei, obiectiv prioritar la nivel de întreprindere, centrală industrială și minister ;*

— secția II : *Măsuri aplicate, rezultate obținute și evidențierea unor noi posibilități de economisire și utilizare rațională a energiei electrice ;*

— secția III : *Măsuri aplicate, rezultate obținute și evidențierea unor noi posibilități de economisire și utilizare rațională a energiei termice.*

Programul consfătuirii a inclus și două vizite tehnice la CET II din cadrul Întreprinderii Electrocentrale Oradea și la Institutul de Subingineri Oradea, unde au fost prezentate principalele realizări din domeniul utilizării raționale a combustibilului și energiei.

Referatele susținute și dezbaterile care au avut loc au constituit un fructuos schimb de experiență, informații și opinii între specialiștii energeticieni din întreprinderi, centrale industriale, institute de cercetare, proiectare și inginerie tehnologică, ministere și alte organe centrale, asupra principalelor probleme privind economisirea și utilizarea rațională a energiei electrice și termice.

Din lucrările consfătuirii a rezultat că economisirea și utilizarea rațională a energiei constituie o problemă cu caracter permanent, o condiție esențială a dezvoltării economice și sociale, atît în viitorul apropiat, cît și în cel îndepărtat. A fost subliniat faptul că una din cele mai eficiente surse de energie este însăși economisirea ei.

Economisirea energiei constituie în esență o problemă de progres tehnic și de concepție a utilajelor, instalațiilor, tehnologiilor și materialelor, a structurilor energetice și economice, o rezultantă a nivelului tehnic și calitativ realizat în întreaga activitate. Progresul tehnic în domeniul economisirii energiei trebuie să fie orientat spre optimizarea soluțiilor tehnice de folosire a energiei, inclusiv utilizarea purtătorilor de energie stabiliți prin calcule tehnico-economice, și spre economisirea hidrocarburilor și valorificarea resurselor energetice refolosibile.

Se impune aplicarea de noi măsuri pentru reducerea mai accentuată a consumului de energie în tehnologiile industriale, vizînd în special înlocuirea tehnologiilor energointensive cu altele cu consumuri energetice mai reduse, perfecționarea unor procese tehnologice, modernizarea agregatelor și instalațiilor în scopul reducerii consumurilor specifice de energie, valorificarea la maximum a resurselor energetice refolosibile rezultate din procesele industriale etc. Totodată, este necesară îmbunătățirea normării duratelor de viață a diferitelor tehnologii, luîndu-se în considerare consumurile specifice de energie și tendințele de scădere a acestora pe plan mondial.

Dezbaterile au arătat tendințele manifestate de unii proiectanți și consumatori de a extinde utilizarea energiei electrice în domeniul producerii căldurii de potențial ridicat, mediu sau chiar coborît. Energia electrică reprezintă un produs scump și deficitar la nivelul economiei naționale ; de aceea este necesar să se acorde o atenție deosebită condițiilor tehnice pe care trebuie să le îndeplinească instalațiile și receptoarele electrotermice și modului de exploatare a acestora.

La utilizarea energiei electrice în procesele electrotermice trebuie avute în vedere următoarele :

— prevederea în proiecte și instalarea de receptoare electrotermice să se facă numai pe baza justificării prin calcule tehnico-economice de fundamentare, în comparație cu alți agenți energetici ;

— utilizarea instalațiilor și receptoarelor electrotermice numai în scopul pentru care au fost concepute și funcționarea acestora la capacitatea proiectată, evitîndu-se funcționarea în gol sau cu sarcină redusă ;

— dotarea obligatorie a instalațiilor și receptoarelor electrotermice cu aparatura necesară de măsurare, control și automatizare care să asigure funcționarea optimă a acestora ;

— reducerea la minimum a pierderilor de căldură către mediul ambiant prin măsuri constructive (realizarea unor izolații termice corespunzătoare) și de explorare (evitarea pe cît posibil a deschiderii ușilor cuptoarelor, micșorarea timpului de luare a probelor etc.) ;

— asigurarea acelor regimuri tehnologice care să conducă la consumuri specifice minime de energie electrică.

Referatele și dezbaterile care au avut loc au evidențiat și unele măsuri pentru optimizarea funcționării cuptoarelor cu arc electric, și anume :

— folosirea regimului UHP (densitate de curent mai mare de 20 A/cm^2) în perioada topirii încărcăturii metalice ;

— conducerea procesului tehnologic să aibă în vedere atît reducerea consumului specific de energie electrică, cît și creșterea valorii factorului de putere ;

— înlocuirea cuptoarelor de tip vechi cu cuptoare modernizate, în vederea creșterii eficienței în utilizarea energiei electrice.

Cu ocazia discuțiilor s-a stabilit necesitatea aplicării de măsuri tehnico-organizatorice pentru micșorarea sau chiar evitarea timpului de așteptare (de menținere a instalațiilor în stare de veghe) în special la funcționarea agregatelor și instalațiilor din turnătorii și pentru omologarea receptoarelor electrotermice.

Utilizarea tehnologiilor și aparatelor cu microunde în procesele de încălzire, uscare și decongelare conduce la reduceri însemnate ale consumului de energie primară. Se menționează în acest sens preocupările Institutului de Subingineri Oradea pentru generatorul de microunde și ale Întreprinderii de Cinescoape București pentru asimilarea și producția de serie a acestuia.

Compensarea puterii reactive la marii consumatori de energie este un mijloc important de reducere a pierderilor și de economisire a energiei electrice. Discuțiile pe această temă au scos în relief următoarele imperative :

— instalarea bateriilor de condensatoare necesare, înlocuirea condensatoarelor defecte sau repararea acestora, prin unități specializate ;

— automatizarea instalațiilor pentru compensarea puterii reactive în scopul evitării creșterii fluctuațiilor de tensiune, a pierderilor de energie și a cheltuielilor de exploatare ;

— folosirea instalațiilor de compensare statică cu tiristoare, concepție — ICPE București ;

— utilizarea în instalațiile cu regim deformant a dispozitivelor de filtrare — compensare ;

— inițierea de măsurători pentru parametrii regimului deformant la acei consumatori care posedă receptoare electrice neliniare și aplicarea de măsuri pentru reducerea efectelor negative ale acestora.

Este necesară aplicarea de măsuri pentru reducerea gradului de nesimetrie a curenților și tensiunilor la consumatorii care au în dotare receptoare electrice nesimetrice în vederea economisirii energiei electrice și reducerii numărului de incidente de exploatare.

Prin actualizarea periodică a bilanțurilor energetice trebuie să se pună în evidență toate categoriile de pierderi de energie și de resurse energetice refolosibile și să se stabilească măsurile necesare pentru reducerea pierderilor pe baza colaborării permanente între energeticieni și tehnologi. O importanță deosebită trebuie acordată valorificării resurselor energetice refolosibile existente la toate categoriile de consumatori, în legătură cu care se desprinde necesitatea acordării unei atenții speciale noilor soluții și tehnologii de recuperare (recuperatoare cu tuburi termice, pompe de căldură) ; în vederea valorificării RER de potențial termic scăzut pe lîngă cercetarea de noi soluții de recuperare mai sînt necesare și acțiuni în vederea depistării consumatorilor pentru aceste resurse.

În acest sens se menționează următoarele :

— valorificarea căldurii gazelor de ardere de la cazanele energetice și cuptoarele industriale, funcționînd cu gaze naturale pînă sub punctul de rouă, cu ajutorul schimbătoarelor de căldură tip scruber, care prezintă perspective încurajatoare din punctul de vedere al duratei de recuperare a investițiilor avînd în vedere valoarea economiilor de combustibili. Urmează ca în acest an să fie experimentat primul astfel de schimbător de căldură montat într-o instalație industrială ;

— extinderea valorificării căldurii conținute în apa de răcire a compresoarelor de aer prin separarea circuitelor de apă de răcire pentru răcirea uleiului de cele pentru răcirea aerului și obținerea de agenți energetici cu temperaturi de circa 90—95°C utilizabili direct în corpurile interioare de încălzire, prin realizarea în două trepte a schemei de răcire a aerului. Se impune ca echipamentele necesare acestei soluții să intre în furnitura de fabrică a constructorului de compresoare de aer.

Măsurile, acțiunile și soluțiile tehnice pentru economisirea energiei trebuie să fie întotdeauna analizate sistematic, cu luarea în considerare a tuturor consecințelor directe și indirecte, astfel încît să se asigure economisirea energiei și eficiența maximă la scara economiei naționale. De asemenea, se impune efectuarea de comparații între soluțiile tehnice utilizate în țară și pe plan mondial pentru a se ajunge la concluzii utile, în vederea adoptării celei mai eficiente soluții.

Perfecționarea normării consumurilor de energie constituie o pîrghie importantă în vederea creșterii eficienței utilizării energiei. Este necesar ca normele elaborate să stimuleze preocupările privind creșterea randamentelor energetice, să asigure desfășurarea normală a proceselor tehnologice și funcționarea corespunzătoare a instalațiilor și utilajelor, precum și protecția mediului ambiant.

La analiza energointensivității unui produs sau a unui proces tehnologic este necesar să se țină seama nu numai de consumul direct de energie, ci și de consumul indirect, prin materiile prime, materiale și utilități. Indicatorul consum specific cumulat de energie facilitează astfel de analize.

Obținerea unor rezultate eficiente la producerea și utilizarea energiei electrice și termice nu poate fi posibilă fără ridicarea nivelului de pregătire profesională, atît a personalului cu profil energetic, cît și a celui de alte specialități, inclusiv prin organizarea de cursuri de perfecționare cu teme privind economisirea și folosirea rațională a energiei.

Este necesară îmbunătățirea activității de informare, documentare și schimb de experiență în domeniul energeticii industriale și generale la toate nivelurile prin :

— reactualizarea și punerea la dispoziția lucrătorilor din unitățile economice a instrucțiunilor, prescripțiilor și celorlalte acte normative care privesc utilizarea rațională a energiei electrice și termice ;

— editarea de către unitățile producătoare de aparate, utilaje agregate și echipamente a unor prospecte și cataloage complete care să cuprindă și elemente privind consumurile energetice, necesare la elaborarea bilanțurilor energetice de proiect și întocmirii documentațiilor tehnico-economice necesare obținerii avizelor energetice ;

— editarea unei reviste cu profil de energetică industrială ;

— organizarea periodică a unor consfătuiri și schimburi de experiență privind economisirea și gospodărirea rațională a energiei.

Cea de a VI-a Consfătuire națională care a avut loc la Oradea în perioada 8—9 iunie 1989 a lansat un apel către toți energeticienii și tehnologii să intensifice activitatea de economisire și folosire rațională a energiei electrice și termice și să aplice măsurile necesare în toate domeniile de activitate, pentru transpunerea în viață a hotărîrilor de partid și de stat din domeniul energetic.

COMITETUL DE ORGANIZARE

A VIII-A SESIUNE DE COMUNICĂRI TEHNICO-ȘTIINȚIFICE „PRODUCEREA, TRANSPORTUL, DISTRIBUȚIA ȘI UTILIZAREA RAȚIONALĂ A ENERGIEI"

Suceava, 2—3 iunie 1989

Inițiată de IRE Suceava în 1974, sesiunea de comunicări tehnico-științifice cu tema „Producerea, transportul, distribuția și utilizarea rațională a energiei" se desfășoară bienal, astfel încît anul acesta ea a ajuns la cea de-a VIII-a ediție. Lărgindu-și progresiv aria tematică și incluzînd un număr din ce în ce mai mare de lucrări ale cercetătorilor, cadrelor didactice universitare, specialiștilor din activitatea de proiectare, exploatare și construcții-montaj din întreaga țară, sesiunea de la Suceava și-a cîștigat o poziție bine definită în cadrul manifestărilor tehnico-științifice cu caracter energetic de nivel național.

Comunicările ce se susțin în cadrul acestei manifestări se înscriu în preocupările majore ale energeticii românești.

Ediția din acest an a sesiunii a avut o problematică amplă: a cuprins un număr de 175 comunicări, cu peste 380 autori din întreaga țară. Contribuții deosebite la realizarea acestei ediții a sesiuii au avut institutele politehnice din București, Iași, Cluj-Napoca, precum și Universitatea Brașov, ICEMENERG, ISPE, ICPE (Filiala Iași) ICSIT-MTAE Craiova, CCSITEH Reșița, CCSITPV București, Institutul de Economie Industrială București. De asemenea, au participat la lucrări specialiști din Ministerul Energiei Electrice, DEN, CIRE și unele întreprinderi de rețele electrice printre care IDE București, IRE Bacău, IRE Botoșani, IRE Craiova, IRE Constanța, IRE Focșani, IRE Zalău, IRE Reșița și altele.

Lucrările sesiunii s-au desfășurat în sala mică a Casei de Cultură a sindicatelor din municipiul Suceava, unde erau prezenți peste 200 de participanți. Cuvîntul de deschidere a fost rostit de ing. Ov. Mustață — directorul Intreprinderii de Rețele Electrice Suceava. Au mai vorbit prof. dr. doc. V. I. Nitu — președintele Secției de Energetică din cadrul CNIT, ing. I. Mercare din cadrul IGSIG, dr. ing. M. Slănină din cadrul ICPE — filiala Iași și dr. ing. H. Cristea din cadrul ICEMENERG. Din partea organelor locale de partid și de stat participanții au fost salutați de ing. M. Grozavu, directorul Cabinetului Județean Suceava de Organizare Economico-Socială.

În continuare s-au desfășurat lucrările în plen (23 comunicări). Au urmat lucrările pe secțiuni (3 secțiuni) pentru care au fost prezentate rapoarte de sinteză, urmate de intervențiile autorilor și ale altor participanți.

Cele trei secțiuni au avut următoarea tematică:

I. *Economisirea combustibililor și energiei. Reducerea c.p.t. în rețelele sistemelor energetice. Surse convenționale și neconvenionale de energie* (70 comunicări — raportor ing. R. Sfichi).

II. *Instalații de automatizare, protecție și control în sistemele energetice. Sisteme teleinformatice. Conducerea și siguranța sistemelor energetice* (46 comunicări — raportor ing. V. Nicoară).

III. *Comportarea în exploatare a echipamentelor și materialelor energetice. Noi soluții constructive și de proiectare a instalațiilor energetice* (36 comunicări — raportor ing. I. Prelipcean).

Din referatele și rapoartele prezentate, precum și din numeroasele intervenții ale participanților au rezultat concluzii deosebit de importante și utile, a căror transpunere în activitatea practică înseamnă un aport direct la îndeplinirea sarcinilor ce revin sectorului energetic din țara noastră, așa cum rezultă din Directivele Congresului al XIII-lea al P.C.R. cu privire la dezvoltarea economico-socială a României în cincinalul 1986—1990 și orientările de perspectivă pînă în anul 2000.

Dintre concluziile desprinse sînt de reținut următoarele:

— Necesitatea aprofundării studiilor legate de normarea consumurilor tehnologice proprii la nivelul tuturor componentelor sistemului energetic, cu accent pe promovarea modelelor matematice, statistico-probabilistice bazate pe lărgirea ariei măsurătorilor care vizează observabilitatea și controlabilitatea sistemului.

— Bilanțurile electroenergetice, ca metodă de mare eficiență pentru identificarea tuturor posibilităților de raționalizare și economisire a energiei electrice, se recomandă a fi elaborate într-o viziune sistemică, corelate cu celelalte laturi ale bilanțurilor energetice din întreprinderile industriale (termice, aer comprimat etc.), precum și în cadrul unor colective lărgite de specialiști: energeticieni, tehnologi, informaticieni, economiști ș.a.

— Ridicarea performanțelor tehnico-economice ale unor surse din categoria celor ce derivă dintr-un potențial energetic redus (aerocentrale, microhidrocentrale etc.) implică unirea eforturilor conjugate ale specialiștilor din învățămînt, cercetare și producție, privind stabilirea unei concepții unitare de proiectare, execuție și exploatare a microsistemelor energetice autonome în scopul creșterii rentabilității lor.

— Extinderea și generalizarea teleconducerii pe toate nivelurile și treptele de exploatare ale sistemului energetic ca principal mijloc de creștere a productivității muncii pe calea modernizării instalațiilor, a creșterii gradului de automatizare a acestora. Este de reținut că în cadrul lucrărilor ediției a VIII-a a acestei sesiuni o pondere deosebită au deținut-o lucrările referitoare la promovarea sistemelor teleinformatice în energetică — preocupare de bază privind promovarea tehnicilor de vîrf în cadrul Ministerului Energiei Electrice (se evidențiază în acest sens comunicările de la I. P. București, ICEMENERG, ISPE, IRE Suceava ș.a.).

— Dezvoltarea și modernizarea rețelelor electrice și de termoficare implică preocupări legate de sistematizarea teritorială, compactarea liniilor electrice de diverse tensiuni, ridicarea calității materialelor și subansamblurilor înglobate în noile obiective, precum și a acelora ce se repară sau modernizează.

— Aprofundarea investigațiilor privind funcționarea în regimuri anormale ale rețelelor sistemului electroenergetic (regimuri nesinusoidale și nesimetrice ș.a.), precum și urmărirea problematicii privind calitatea energiei — element esențial al preocupării energeticienilor din țara noastră în contextul creșterii cererii de putere și energie a consumatorilor, inclusiv a proliferării receptoarelor neliniare ca urmare a dezvoltării electronicii de putere și a altor receptoare nesimetrice și deformante.

— Ridicarea performanțelor de fiabilitate și mentenabilitate a echipamentelor din sistemul energetic și reducerea impactului instalațiilor energetice asupra mediului ambiant (inclusiv aspecte mai sensibile în acest sens, cum ar fi compatibilitatea electromagnetică a instalațiilor de curenți slabi), implică aprofundări ale studiilor și experimentărilor ce se impun a fi făcute în colaborare cu furnizorii de echipamente.

În finalul acestei succinte prezentări subliniem că ceea ce a caracterizat lucrările acestei manifestări a fost nivelul științific ridicat al comunicărilor, gradul mare de originalitate și aplicabilitatea practică, concretă a majorității acestor lucrări.

Ediția următoare a acestei manifestări (a IX-a) va avea loc în anul 1991.

Ing. ROMULUS SFICHI — IRE Suceava

СОДЕРЖАНИЕ

ЭНЕРГЕТИКА В ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЯХ
ПАВЕЛ ЕУДЖЕНИЮ: Новые аспекты теории трехфазных статических разбалансированных приемников (с представлением на английском языке) 481—492

ТЕПЛОЭЛЕКТРОСТАНЦИИ
МИРЧА РЭДУЛЕСКУ, КРИСТИАН ТОТОЛО, ЭМИЛ ТРИФА: Двухступенчатый пылеконцентратор — эффективное решение для стабилизация сжигания лигнитной пыли в котле 400 т/ч на ТЭЦ Орадя I 493—498

АТОМНЫЕ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ
ТРАЯН МАУНА, АНДРИЕШИКА МАУНА: К вопросу о загрязнении водной среды жидкими радиоактивными отходами, сбрасываемыми АЭС 499—503

НОВЫЕ ИСТОЧНИКИ И ТЕХНОЛОГИИ
ИОАН АНТОН, ФРАНЧИСК ГЮЛАЙ, ИОСИФ ПРЕДА, КОРНЕЛ АЛБУ, ЛАЗАР БРОШТЯН, ЭМИЛИАН СУЧИУ, ИОНЕЛ БАЧИУ: Опытные исследования, проводимые на ветроэлектрической лабораторной установке в Политехническом Институте г. Тимишоара 504—508

ФРАНЧИСК ГЮЛАЙ, ЧЕЗАР ДОРИН ГАЛЕРИУ: Моделирование в аэродинамической трубе следа ветровых установок 508—511

ФРАНЧИСК ГЮЛАЙ, ЕУДЖЕН ДОБЫНДЭ: Несколько вопросов относительно гарантирования аэродинамических качественных показателей ветровых турбин 512—515

РОМУЛУС СФИКИ, ТИБЕРИУ ЦУГУЙ: Вероятностное предопределение годовой выработки электроэнергии одним ветрогенератором путем линеаризации характеристики мощности 516—519

ИСТОРИЯ ЭЛЕКСРИФИКАЦИИ 520—523
НОВОСТИ
ИЗ МИРОВОЙ ЭНЕРГЕТИКИ 503
ХРОНИКА 524—526

INHALT

DIE ENERGIEWIRTSCHAFT IN INDUSTRIEBETRIEBEN
PAVEL EUGENIU : Neue Aspekte in der Theorie der dreiphasigen statischen unausgeglichenen Verbraucher 481—492

WÄRMEKRAFTWERKE
MIRCEA RĂDULESCU, CRISTIAN TOTOLO, EMIL TRIFAN : Direkte Einblasung mit zweistufiger Brüdentrennung, eine wirksame Lösung für die Braunkohlestaubfeuerung-Stabilität beim 400 t/h Dampfkessel des Wärmekraftwerks Oradea I 493—498

KERNKRAFTWERKE
TRAIAN MAUNA, ANDRIEŞIGA MAUNA : Betrachtungen zur Belastung der Gewässer mit flüssigen radioaktiven Abfällen aus Kernkraftwerken 499—503

NEUE ENERGIEQUELLEN UND -VERFAHREN
IOAN ANTON, FRANCISC GYULAI, IOSIF PREDA, CORNEL ALBU, LAZĂR BROŞTEAN, EMILIAN SUGIU, IONEL BACIU : Experimentelle Forschungen mit der Labor-Windkraftanlage des Polytechnischen Instituts Timişoara 504—508

FRANCISC GYULAI, CEZAR DORIN GALERIU : Modellierung im Windkanal der Schleife der Windkraftaggregate 508—511

FRANCISC GYULAI, EUGEN DOBÎNDĂ : Einige Fragen zur Gewährleistung der aerodynamischen Parameter der Windturbinen 512—515

ROMULUS SFICHI, TIBERIU ŢUGUI : Probabilistische Vorbestimmung der jährlichen Energieleistung einer Windanlage durch die Linearisierung der Leistungskennlinie 516—519

DIE GESCHICHTE DER ENERGIEWIRTSCHAFT 520—523
NEUIGKEITEN
DIE ENERGIEWIRTSCHAFT WELTWEIT 503
CHRONIK 524—526

SOMMAIRE

L'ÉNERGIE DANS L'ENTREPRISE
PAVEL EUGENIU : Des aspects nouveaux de la théorie des récepteurs triphasés statiques déséquilibrés 481—492

CENTRALES THERMIQUES
MIRCEA RĂDULESCU, CRISTIAN TOTOLO, EMIL TRIFA : L'injection directe à séparation biétagée de la vapeur — une solution efficace pour la stabilisation de la combustion du lignite pulvérisé dans la chaudière de 400 t/h de la centrale thermique Oradea I 493—498

CENTRALES NUCLÉAIRES
TRAIAN MAUNA, ANDRIEŞICA MAUNA: Considérations sur la pollution du milieu aquatique par les déchets liquides radio-actifs évacués par les centrales nucléaires 499—503

NOUVELLES SOURCES ET TECHNOLOGIES ÉNERGÉTIQUES
IOAN ANTON, FRANCISC GYULAI, IOSIF PREDA, CORNEL ALBU, LAZĂR BROŞTEAN, EMILIAN SUGIU, IONEL BACIU : Recherches expérimentales sur l'agrégat éolien de laboratoire de l'Institut Polytechnique de Timişoara 504—508

FRANCISC GYULAI, CEZAR DORIN GALERIU : Simulation dans le tunnel aérodynamique de la trace des agrégats éoliens 508—511

FRANCISC GYULAI, EUGEN DOBÎNDĂ : Quelques problèmes concernant la garantie des performances aérodynamiques des turbines éoliennes 512—515

ROMULUS SFICHI, TIBERIU ŢUGUI : La prédétermination probabiliste de la production annuelle de l'énergie d'un aérogénérateur par la linéarisation de la caractéristique de puissance 516—519

HISTOIRE DE L'ÉLECTRIFICATION 520—523
NOUVEAUTÉS
L'ÉNERGIE DANS LE MONDE 503
CHRONIQUE 524—526

CONTENTS

ENERGY IN THE ENTERPRISES
PAVEL EUGENIU : New Aspects of Static Unbalanced Triphasic Receivers Theory 481—492

THERMAL POWER PLANTS
MIRCEA RĂDULESCU, CRISTIAN TOTOLO, EMIL TRIFAN : Two Stage Dust Concentrator — Efficient Solution for Lignite Dust Burning Stability at the 400 t/h Power Plant Oradea I 493—498

NUCLEAR POWER PLANTS
TRAIAN MAUNA, ANDRIEŞIGA MAUNA : Considerations Regarding Water Contamination with Liquid Radioactive Wastes Disposed of Nuclear Power Plants 499—503

NEW ENERGY SOURCES AND TECHNOLOGIES
IOAN ANTON, FRANCISC GYULAI, IOSIF PREDA, CORNEL ALBU, LAZĂR BROŞTEAN, EMILIAN SUGIU, IONEL BACIU : Experimental Research Studies on the Laboratory Wind Unit at the Timişoara Polytechnical Institute 504—508

FRANCIS GYULAI, CEZAR DORIN GALERIU : Aerodynamic Tunnel Modelling of Wind Unit Track 508—511

FRANCISC GYULAI, EUGEN DOBÎNDĂ : Issues on Wind Unit Aerodynamic Performances Assurance 512—515

ROMULUS SFICHI, TIBERIU ŢUGUI : Probabilistic Determination of a Wind Generator Annual Energy Output by the Power Characteristic Linearization 516—519

THE HISTORY OF ENERGY 520—523
NEWS
ENERGY WORLDWIDE 503
CHRONICS 524—526

COLEGIUL DE REDACȚIE

Președinte, redactor responsabil : **dr. ing. Eugeniu Pavel**
Redactori responsabili adjuncți : **dr. ing. Mihai G. M. Pop, ing. Radu Opincaru, dr. ing. Radu Enache, ș.l. dr. ing. Cezar Ionescu**
Secretar de redacție : **dr. ing. Teodor Popa**
Gestiunea financiară : **ec. Pompiliu Silvășanu**

Orientări în energetică : **dr. ing. Mario Duma**
Energetica în unități economice : **ing. Ion Măiereanu, ing. Alexandru Floreseu**
Dezvoltarea sistemelor energetice : **dr. ing. George Manolescu, dr. ing. Anca Popescu**
Conducerea și automatica SE : **dr. ing. Victor Romert, dr. ing. Jean Constantinescu**
Centrale termoelectrice : **conf. dr. ing. Costin Moțoiu, ing. Romeo Zbarcea**
Centrale hidroelectrice : **conf. dr. ing. Valeriu Nistreanu, dr. ing. Gheorghe Luca**
Centrale nuclearoelectrice : **ing. Adrian Georgescu, prof. dr. ing. Nicolae Dănilă, ing. Mircea Tarța, dr. ing. Gheorghe Bălan**
Rețele electrice : **ing. Dinu Voinea, ing. Nicolae Georgian**
Alimentare cu căldură : **ing Nicolae Niculescu, conf. dr. ing. Victor Athanasoviei**
Surse și tehnologii noi : **ing. Constantin Popescu, ș. l. dr. ing. Ion Chiuță**
Tehnologii chimice în energetică. Poluare : **dr. chim. Maria Maftei**
Organizarea producției și a muncii : **ing. Miron Popescu**
Terminologia energetică : **dr. ing. Iosif Cservony**
Istoria electrificării : **ing. Paul Cartianu**
Noutăți : **ing. Mihai Nistor, ing. Romulus Sfichi**
Centre universitare și industriale :

Iași : **prof. dr. ing. Alexandru Poeată**
Timișoara : **prof. dr. ing. Viorel Negru**

Acest număr a fost realizat cu ajutorul următorilor secretari ai grupelor de specialitate :

— **ing. Angela Perea** — Energetică în unități economice
— **ing. Anton Roșu** — Centrale termoelectrice
— **ing. Călin Teodorescu** — Centrale nuclearoelectrice
— **ing. Ioan Turcu** — Surse și tehnologii noi

Revista „ENERGETICA" este editată și administrată de Institutul de Cercetări și Modernizări Energetice prin Oficiul de Informare-Documentare pentru Energetică.
Vasile Pleșca — șef OIDE, **Ana Maria Chivu** — redactor

Revista ENERGETICA — publicație lunară, reflectă preocupările spirituale și realizările materiale în domeniul energeticii. Funcționează în conformitate cu *ROF* aprobat cu Ordinul nr. 97/1987, publicat în numărul 4/87 al revistei. Elaboratorii de lucrări propuse pentru publicare sînt rugați să consulte *„Îndrumările pentru întocmirea și prezentarea lucrărilor propuse pentru a fi publicate în revista Energetica"*, *„Ghidul pentru avizarea lucrărilor propuse pentru a fi publicate în revista Energetica"* apărute în numărul 12/86, precum și *„Planul tematic al revistei Energetica pe anii 1988—1990"*, publicat în nr. 5/1987 al revistei.

Instituțiile pot achita abonamentele în contul de virament nr. 30.11.8.01.01 — — BN R.S.R. fil. sector 3 sau direct la redacție. Costul unui abonament : 144 lei anual; costul unui exemplar : 12 lei.

Redacția și administrația revistei : B-dul Energeticienilor, nr. 8, sect. 3, cod 79619, București

41 401

ANNOUNCEMENTS FOR READERS ABROAD

- **The review "Energetica" can send on request from publications abroad reports translated in one of the worldwide spoken languages**
- **The review "Energetica" proposes a publication exchange with similar reviews and in relating fields**
- **The review "Energetica" provides and publishes or introduces books on energy received at the editorial office. Reviews and presentations of books sent on this purpose to the editorial office can be published as well**
- **The review "Energetica" publishes on request from authors abroad reports of energy or other materials : technical and scientific news, inventions-innovations, information about technical and scientific symposia, etc. written in one of the worldwide spoken languages**
- **Readers from abroad can subscribe through : ROMPRESFILATELIA — sectorul import-export, P.O. Box 12—201, telex 10376 prsfir, Calea Griviței nr. 64—66, București — România.**

Tiparul : Întreprinderea Poligrafică „Informația", București, str. Brezoianu 23—25 c. 1588

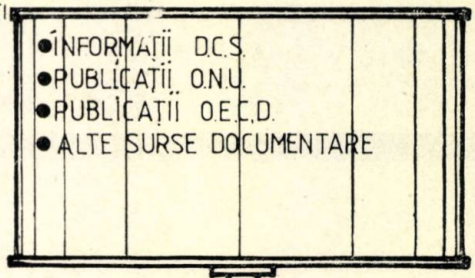
OBSZERVATORIUL MUZEAN MEGYEI TANÁCS

MINISTERUL ENERGIEI ELECTRICE

INSTITUTUL DE CERCETĂRI ŞI MODERNIZĂRI ENERGETICE

ICEMENERG

Bd. ENERGETICIENILOR 8 ● SECTORUL III
79619 BUCUREŞTI ● Telefon : 214630 ; 206730
Telex : ICEMENERG 10783 ● CONT: 30.11.8.01.01
BNRSR Filiala Sector III BUCUREŞTI

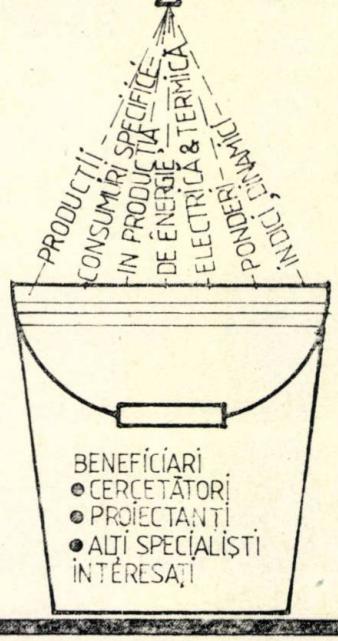


COMANDĂ LA
ICEMENERG

LABORATORUL DE PROGNOZA
DEZVOLTĂRII ŞI SINTEZĂ

DATELE STOCATE ÎN BANCA SÎNT TRATATE AUTOMAT ÎN DIVERSE STRUCTURI UZUALE

- Structura energetică (resurse şi purtători)
- Structura economică (ramuri ale economiei naţionale).
- Unităţi de măsură internaţionale şi tolerate.
- Nomenclator 20 de ţări.
- Date începînd cu anul 1985.



INSTITUTUL DE CERCETĂRI ŞI MODERNIZĂRI ENERGETICE

ICEMENERG

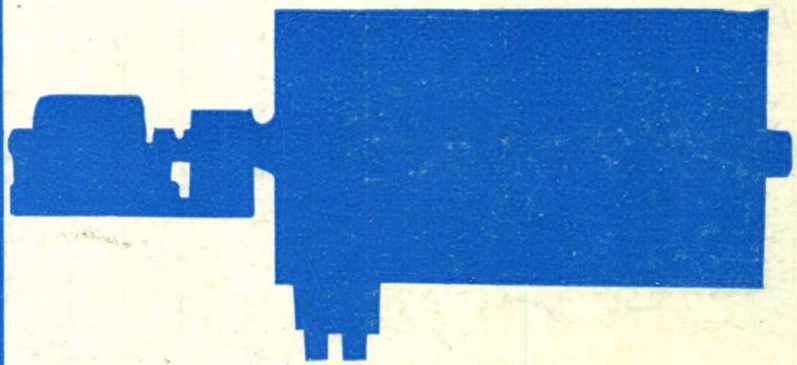
Bd. ENERGETICIENILOR 8 ● SECTORUL III
79619 BUCUREŞTI ● Telefon : 214630 ; 206730
Telex : ICEMENERG 10783 ● CONT: 30.11.8.01.01
BNRSR Filiala Sector III BUCUREŞTI

LABORATORUL DE MAŞINI ELECTRICE

execută cercetări ştiinţifice, lucrări de microproducţie şi asistenţă tehnică pentru generatoare electrice, sisteme de excitaţie şi motoare electrice.

COLECTIVUL DE GENERATOARE ELECTRICE

- performanţe-parametrie randamente caracteristici izolaţii ;
- diagnoză ;
- tehnologii de realizare izolaţii pentru elemente componente ;
- regimuri de funcţionare.



COLECTIV ECHIPAMENTE DE EXCITAŢIE

- performanţe sisteme de excitaţie ,
- modernizări ;
- soluţii noi pentru sisteme de excitaţie şi elemente componente şi implementarea acestora

COLECTIV SERVICII INTERNE ŞI MOTOARE ELECTRICE

- regimuri de funcţionare şi dimensionarea schemelor electrice ale SI ;
- regimuri de funcţionare ale motoarelor electrice
- diagnoza defecţiunilor motoarelor electrice ;
- dimensionarea acţionărilor cu motoare electrice ;
- acţionări electrice cu turaţie reglabilă.

Rovinari, Turceni, Porţile de Fier, Anina, Bicaz, Govora, Halînga, Palas, Argeş, Lotru, Giurgiu, Doiceşti, Iernut, Borzeşti, Gîlceag, Tarniţa, Brăila, Iaşi, Oradea, Turnu, Tismana,

E 2039

EDE

MW

12

REFERALVA

R 1990 -04- 17

Cuprins

ORIENTĂRI IN ENERGETICĂ

IOAN POP, CORNEL UNGUREANU: **Criterii de interschimbabilitate a combustibililor gazoși** 530—536

CENTRALE TERMOELECTRICE

MIHAI PLOSCARU, MIHAI LAURIC, MIHAELA GHERASE: **Protejarea acționării morilor ventilator la suprasarcină cu ajutorul cuplajelor centrifugale cu alice** 537—542

CENTRALE NUCLEAROELECTRICE

PAUL EMIL RAȘCU: **Aspecte actuale rezultate din construcția și exploatarea centralelor nuclearoelectrice** 543—553

TEHNOLOGII CHIMICE IN ENERGETICĂ. POLUARE

MARGARIOS SALGIAN, CLAUDIA TOMESCU: **Probleme privind protecția mediului înconjurător** 554—563

ORGANIZAREA PRODUCȚIEI ȘI A MUNCII

HERMINA ALBERT: **Unele considerații privind fiabilitatea factorului uman** 564—566

MASĂ ROTUNDĂ

Viorel Isăroiu: **Adaptarea socio-profesională a personalului pentru activitățile din unitățile M.E.E.** 567—568

NOUTĂȚI

Din energetica mondială 536

CUPRINS GENERAL AL REVISTEI ENERGETICA PE ANUL 1989 570—572

INDEX ALFA BETIC AL AUTORILOR ARTICOLELOR PUBLICATE IN REVISTA ENERGETICA, VOL. 37(1989) 572—573

energetica

VOLUMUL XXXVII
BUCUREȘTI
DECEMBRIE 1989

I.S.P.H.

INSTITUTUL DE STUDII ŞI PROIECTĂRI HIDROENERGETICE

29, Republicii Blvd., 79669 Bucharest,
Romania,
Phone 147270, Telex 11-443 i.s.p.h.r.

ISPH-Designing Institute with complex profile offers :

SPECIAL ACTIVITIES

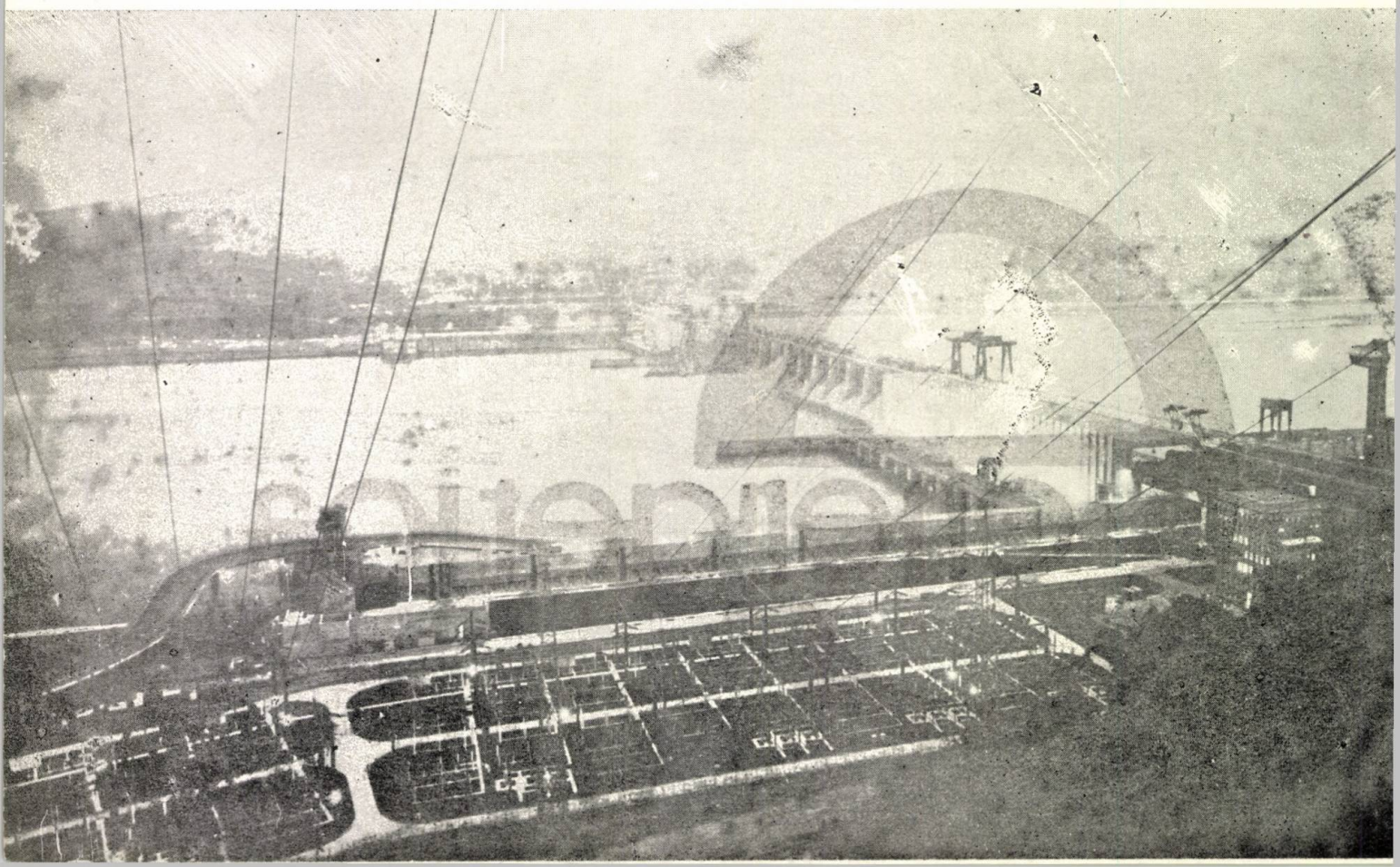
- hydrological and hydrogeological studies
- engineering-geological investigations
- geotechnical and geophysical explorations, soil and rock mechanic investigations
- topographical surveys and mapping

SPECIAL SERVICES

- preliminary studies and designs
- feasibility studies
- final designs
- detailed construction drawings
- tender documents and contracts
- inspection and supervision expert's reports

RIVER BASIN DEVELOPMENT STUDIES

- hydroelectric developments
- multipurpose hydraulic developments
- special hydraulic structures



1990 APR 2 5

Stimaţi cititori, colaboratori şi prieteni ai revistei, energeticieni!

Revoluţia din 22 decembrie 1989 care a avut loc în România a dus la eliberarea noastră de presiunea malefică şi sufocantă a unei dictaturi, care, aşa cum s-a dovedit, a fost nu numai anacronică, ci şi de o sălbăticie nemaiîntîlnită în istoria poporului nostru.

Împreună cu tot tineretul ţării, cu întreg poporul, energeticienii s-au aflat, din primul moment, fără ezitare, atît pe baricadele din punctele fierbinţi ale revoluţiei, cît şi la locurile lor de muncă, pentru a asigura alimentarea neîntreruptă cu energie electrică şi căldură a tuturor consumatorilor şi, cu precădere, a punctelor vitale, cum au fost televiziunea, radiodifuziunea etc.

Ca toate celelalte publicaţii din ţara noastră, şi revista ENERGETICA a avut de suferit de pe urma „indicaţiilor" anticulturale din trecut. S-a interzis publicarea unor categorii de articole de larg interes pentru specialişti cum ar fi : marile avarii din sistem, incidente sau accidente deosebite, poluarea mediului înconjurător, prezentarea concretă a unor realizări în energetică, prelucrarea datelor statistice specifice etc. Tirajul revistei era stabilit de „forurile superioare". S-au întîmpinat greutăţi imense în procurarea materialelor de multiplicare şi în special a hîrtiei etc.

O dispoziţie obtuză, birocratică, a făcut ca în anul 1988 apariţia revistei noastre să fie întîrziată cu circa şase luni. Această întîrziere a fost recuperată abia peste un an. Dar cel mai grav fapt a fost împiedicarea de către „oficialităţi" a apariţiei opiniilor libere asupra problemelor acute de specialitate, opinii care, dacă erau în contradicţie cu cele ale „organelor de conducere", erau considerate acte de indisciplină. Discutarea şi analizarea *adevăratelor* probleme nu era posibilă.

De accea, ne exprimăm, şi credem că toţi energeticienii din ţară sînt alături de noi în a-şi exprima totala adeziune la programul Consiliului Frontului Salvării Naţionale, program care prevede eliberarea de minciună, de arbitrar, de abuz şi de voluntarism.

Trebuie subliniat faptul că în condiţiile dificile arătate mai sus, revista noastră a reuşit să evite neadevărul, că a reuşit să evite osanalele editoriale şi că a menţinut o atitudine sobră sub aspect ştiinţific şi obiectivă în conţinutul şi ţinuta articolelor şi informaţiilor tehnice prezentate din toată lumea.

Libertatea de care ne bucurăm azi, libertatea de care am fost frustaţi, implică o serie de responsabilităţi şi o sporită grijă pentru apărarea împotriva impusturii.

Revista noastră trebuie să devină o adevărată tribună în sprijinul activităţii de redresare economică şi de creştere a eficienţei în ramura energetică, dar şi o tribună a ştiinţei aplicate, pentru energeticienii din România şi cu participarea acestora. Desigur că în acelaşi timp trebuie să avem grijă ca revista să reprezinte nivelul energeticii din ţara noastră.

Ne propunem ca paginile revistei să fie deschise pentru punerea în dezbatere a principalelor orientări din energetică, pentru analiza opţiunilor din trecut şi din prezent. Orice specialist competent, capabil să-şi prezinte părerile personale la un nivel tehnic şi ştiinţific corespunzător, care are în vedere rezolvarea problemelor energeticii româneşti, va avea acces la revista noastră, în paginile acesteia.

Facem apel şi la energeticienii din celelalte ramuri economice ca şi la constructorii de echipamente energetice care trebuie să aibă şi au o contribuţie deosebită la procesul de redresare a ramurii noastre, să participe la un schimb larg şi deschis de idei.

Revista va promova independenţa responsabilă a opiniilor. Vom urmări ca nivelul ei ştiinţific să fie rezultatul confruntării (între altele) dintre probitate, utilitate şi apreciere unanimă (naţională şi internaţională).

Colegiul de redacţie

ENERGETICA

REVISTĂ DE SPECIALITATE A ENERGETICIENILOR DIN ROMÂNIA

Anul 37 Nr. 12 decembrie 1989

Orientări în energetică

Criterii de interschimbabilitate a combustibililor gazoși

As. ing. IOAN POP, prof. dr. ing. CORNEL UNGUREANU*

Descriptori : combustibili, combustibili gazoși

Exploatarea instalației de ardere se confruntă de multe ori cu problema înlocuirii unui combustibil gazos cu altul avînd caracteristici fizice și energetice total diferite. Rezolvarea acestei probleme folosind numai indicii de interșanjabilitate a combustibililor gazoși, oferiți de literatura de specialitate nu epuizează problema în întregime, fiindcă nu dă un răspuns clar privind comportarea arzătorului la modificarea reglajului.

De aceea autorii propun folosirea și a diagramei de stabilitate a arderii, pe care o ilustrează cu un exemplu de calcul.

During burning installations operation the problem of replacing a gaseous fuel with another one with totally different physical and energetic characteristics is facing oftenly some difficulties. Solving this problem using only gaseous fuels interchangeability indeces offered by bibliography does not entirely solve this problem since no clear answer regarding burner behaviour subsequent to controls changing is given.

Therefore, the authors propose the use the burning stability diagram which they illustrate with a calculation example.

Generalități

Folosirea gazelor naturale sărace, descoperite în unele zăcăminte din țara noastră, în scopuri energetice — de exemplu, în focarele unor cazane sau cuptoare industriale — ridică, printre altele, problema cunoașterii apriori a condițiilor de compatibilitate a instalațiilor de ardere la schimbarea combustibilului gazos. În cele ce urmează se încearcă indicarea căilor de rezolvare a problemei interschimbabilității combustibililor gazoși pe baza indicilor precizați în literatura de specialitate, precum și pe baza diagramei de stabilitate a arderii, care constituie o propunere a autorilor.

Principial, interschimbabilitatea combustibililor gazoși indică posibilitățile utilizării unui gaz de substituție în locul celui uzual, fără a necesita reglări și/sau modificări constructive ale arzătorului. Două gaze sînt interschimbabile dacă asigură instalației de ardere condiții corecte de funcționare, și anume :

— același debit caloric ;
— stabilitatea flăcării ;
— calitatea arderii.

Pe plan mondial s-au propus diferite metode pentru stabilirea interschimbabilității gazelor. Aceste metode au la bază determinarea, pe baza caracteristicilor combustibililor, a unor indici de interschimbabilitate și a unor coeficienți obținuți experimental. Cu ajutorul indicilor de interschimbabilitate se construiesc pentru un arzător sau grupe de arzătoare diagramele de interschimbabilitate, care exprimă limitele de stabilitate a arderii și permit stabilirea combustibililor gazoși ce se pot substitui reciproc. Noțiunea de interschimbabilitate a combustibililor gazoși are aplicații în special în cadrul arzătoarelor folosite în industrie și pentru locuințe.

1. Indici de interschimbabilitate bazați pe criterii energetice

În condițiile substituirii combustibililor gazoși, una dintre cerințele fundamentale constă în asigurarea sarcinii termice corespunzătoare, solicitate de menținerea parametrilor funcționali ai utilizatorului. Considerînd că fluxul termic generat în urma arderii combustibililor gazoși este determinat, în principal, de căldura chimică a acestora, practic de puterea calorifică inferioară și de debitul combustibi-

* As. ing. Ioan Pop — Institutul Politehnic Cluj-Napoca, prof. dr. ing Cornel Ungureanu — Institutul Politehnic „Traian Vuia" Timișoara

lului — aflat într-o relație inversă cu densitatea sa — rezultă importanța acestor factori în vederea prevederii interschimbabilității combustibililor.

Bazat pe puterea calorifică inferioară (Q_i) și densitatea combustibilului (ρ_g), indicele Wobbe reprezintă una dintre caracteristicile importante ale interschimbabilității, fiind definit conform relației [1, 2]:

$$\mathrm{Wo} = \frac{Q_i}{\rho_g^{0,5}} \ [\mathrm{kJ/m^3*}]. \qquad (1)$$

Pe considerentul echivalenței fluxurilor termice, doi combustibili gazoși pot fi substituiți, cu condiția egalității indicilor Wobbe, fără a fi necesare reglaje sau modificări constructive ale instalației de ardere. În cazul combustibililor gazoși avînd indici Wobbe diferiți, menținerea constantă a sarcinii termice este realizabilă prin modificarea suprapresiunii (Δp) și/sau a secțiunii ajutajului gazelor combustibile (S), conform relației:

$$\frac{\mathrm{Wo}_1}{\mathrm{Wo}_2} = \left(\frac{\Delta p_2}{\Delta p_1}\right)^{0,5} \left(\frac{S_1}{S_2}\right), \qquad (2)$$

în care: indicele 1 se referă la gazul de bază;
indicele 2 se referă la gazul de substituție.

Metoda de prevedere a interschimbabilității elaborată de Knoy [3] se bazează pe considerentul că puterea calorifică inferioară a amestecului carburant în secțiunea de ieșire din arzător este o măsură a capacității de substituție a combustibililor gazoși, fiind aplicabilă arzătoarelor cu preamestecarea combustibilului și a comburantului. Pe baze experimentale s-a constatat că arzătoarele cu preamestec funcționează în condiții satisfăcătoare în cazul unei puteri calorifice a amestecului carburant în secțiunea de ieșire din arzător de 6520 kJ/m³.

În consecință, coroborînd puterea calorifică inferioară a combustibilului și valoarea optimă a acesteia, corespunzătoare amestecului carburant cu densitatea relativă a combustibilului gazos față de aer (ρ'_g), rezultă factorul lui Knoy, conform relației:

$$\mathrm{K} = \frac{Q_i - 6520}{\rho_g'^{0,5}} \ [\mathrm{kJ/m^3}]. \qquad (3)$$

Determinînd factorul lui Knoy atît în cazul combustibilului gazos de bază, cît și al celui de substituție, condiția interschimbabilității constă în variații ale factorului Knoy în limite de $\pm 5\%$, respectiv, în cazuri speciale, admițîndu-se abateri de $\pm 10\%$.

Similar factorului lui Knoy, interschimbabilitatea combustibililor gazoși poate fi evaluată pe baza puterii calorifice inferioare a amestecului carburant în secțiunea de ieșire din arzător (Q_{i2}^{am}), conform relației:

$$Q_{i2}^{am} = \frac{Q_{i2}\,\rho_{g2}'^{0,5}}{\dfrac{Q_{i1} - Q_{i1}^{am}}{Q_{i1}^{am}}\,\rho_{g2}'^{0,5} + \rho_{g1}'^{0,5}} \ [\mathrm{kJ/m^3}]. \qquad (4)$$

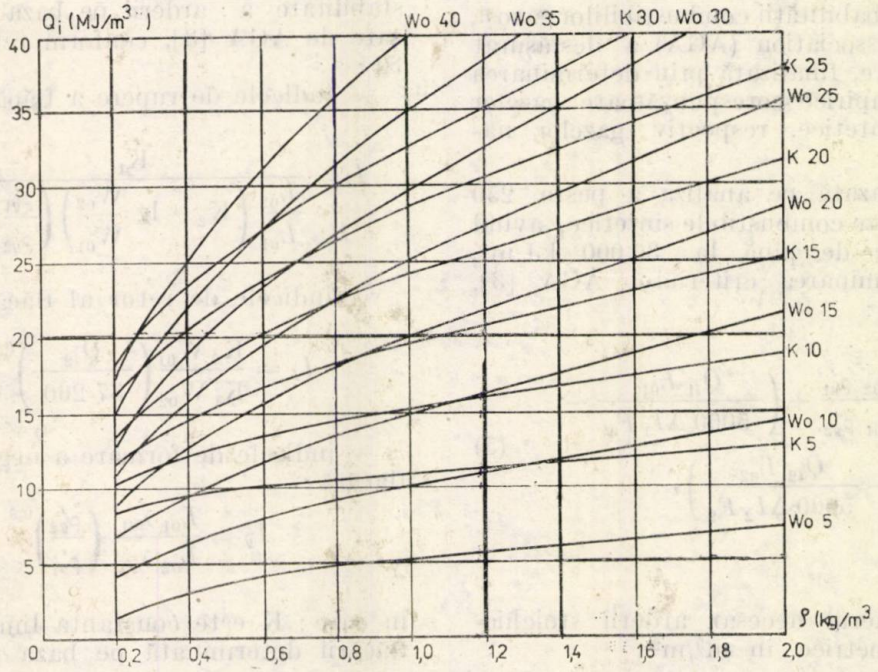


Fig. 1. Determinarea grafică a indicelui Wobbe și a factorului Knoy.

* m³ în condiții normale de temperatură și presiune (pentru toată lucrarea)

Condiția interschimbabilității a două gaze combustibile constă în egalitatea, eventual cu o abatere de maximum 10%, dintre puterile calorifice ale amestecului carburant corespunzător secțiunii de ieșire din arzător.

Determinarea rapidă a indicelui Wobbe, respectiv a factorului Knoy, se poate realiza pe baza diagramei prezentate în figura 1, în funcție de puterea calorifică și densitatea combustibilului gazos.

De menționat că atît indicele Wobbe, cît și factorul Knoy, permit aprecierea interschimbabilității combustibililor gazoși pe baza echivalenței sarcinii termice a instalației de ardere, fără a lua în considerare condițiile de stabilitate ale arderii. Pe de altă parte la substituirea combustibililor gazoși este posibilă modificarea temperaturii teoretice de ardere și a dimensiunilor flăcării, cu influențe majore asupra transferului termic prin radiație în focar și implicit asupra sarcinii agregatului.

2. Indici de interschimbabilitate bazați pe criterii energetice și de stabilitate a arderii

Prevederea interschimbabilității combustibililor gazoși necesită, pe lîngă echivalarea sarcinii termice a instalației de ardere, și analiza comportării din punctul de vedere al stabilității arderii gazului de substituție, caracterizată sintetic prin tendințele de rupere și retur ale flăcării, respectiv limita de apariție a fulgilor de carbon în stare incandescentă care determină luminozitatea flăcării.

În vederea obținerii criteriilor necesare evaluării interschimbabilității combustibililor gazoși, America Gas Association (AGA) a desfășurat o vastă cercetare, finalizată prin determinarea relațiilor semiempirice corespunzătoare gazelor combustibile sintetice, respectiv gazelor naturale.

Cercetarea, bazată pe analiza a peste 250 amestecuri de gaze combustibile sintetice, avînd puteri calorifice de pînă la 30 000 kJ/m³, a permis determinarea criteriului AGA [3], conform relației:

$$C = \frac{Q_{i2} L_{02} \rho'_{g1}}{Q_{i1} L_{01} \rho'_{g2}} + \left(\frac{Q_{i1} L_{01}}{5000 \Delta I_1 F_1} - \frac{Q_{i2} L_{02}}{5000 \Delta I_2 F_2} \right), \quad (5)$$

în care:

L_0 este aerul necesar arderii stoichiometrice, în m³/m³;

ΔI — variația entalpiei specifice a gazelor de ardere în domeniul 870°C și 15°C, în kJ/m³;

F — factor determinat pe baza diagramei prezentate în figura 2. În cazul amestecurilor de gaze, factorul F se determină prin însumarea factorilor F_i, corespunzători participației volumice a componentei i.

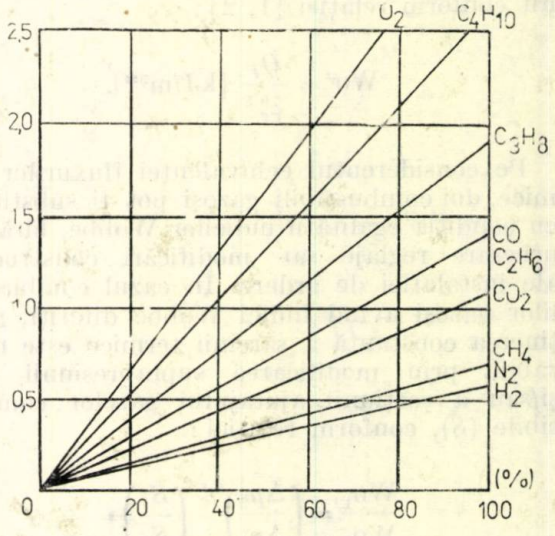


Fig. 2. Determinarea factorului F.

Pentru performanțe satisfăcătoare ale substituției combustibililor gazoși, criteriul de interschimbabilitate AGA este limitat în domeniul 0,85 — 1,15.

Estimarea interschimbabilității combustibililor gazoși cu puteri calorifice de peste 30 000 kJ/m³, necesită analiza condițiilor limită de stabilitate a arderii pe baza criteriilor furnizate de AGA [3], conform relațiilor adaptate SI:

— indicele de rupere a flăcării:

$$I_l = \frac{K_1}{\frac{L_{02}}{L_{01}} \left(K_2 - \lg \frac{W_{02}}{W_{01}} \right) \left(\frac{\rho'_{g1}}{\rho'_{g2}} \right)^{0,5}} \leqslant 1{,}0; \quad (6)$$

— indicele de retur al flăcării;

$$I_f = \frac{K_2 W_{01}}{K_1 W_{02}} \left(\frac{Q_{i2}}{37\,260} \right)^{0,5} \leqslant 1{,}18; \quad (7)$$

— indicele de formare a negrului de fum în flacără:

$$I_y = \frac{L_{01} \lambda_{y1}}{L_{02} \lambda_{y2}} \left(\frac{\rho'_{g2}}{\rho'_{g1}} \right)^{0,5} \geqslant 1{,}0; \quad (8)$$

în care: K este constanta limitei de rupere a flăcării determinată pe baza relației:

$$K = \frac{F}{\rho'_g}; \quad (9)$$

λ_y — valoarea gradului de aerare corespunzător formării negrului de fum în flacără, determinat funcţie de participaţiile componentelor combustibilului gazos ( )$_c$, conform relaţiei :

$$\lambda_y = \frac{2{,}18(CH_4)_c + 5{,}8(C_2H_6)_c + 9{,}8(C_3H_8)_c + 16{,}8(C_4H_{10})_c - 4{,}7(O_2)_c}{L_0 + 7((CO_2)_c + (N_2)_c) - 26{,}3(O_2)_c} \quad (10).$$

Indicele de rupere a flăcării reprezintă raportul gradelor de aerare pentru combustibilul de bază şi pentru cel de substituţie la care apare ruperea flăcării combustibilului de substituţie corespunzător echivalării sarcinii termice. Indicii de rupere subunitari implică un grad de aerare inferior celui corespunzător limitei de rupere în cazul gazului de substituţie, determinînd posibilitatea interschimbabilităţii din punctul de vedere al ruperii flăcării. De menţionat că indicele de rupere a flăcării poate depăşi unitatea, avînd în vedere condiţiile reale de funcţionare.

Determinarea indicelui de retur al flăcării s-a realizat exclusiv empiric, întrucît, în cazul gazelor combustibile bogate, tendinţele returului apar într-un domeniu restrîns, în funcţie de soluţia constructivă a arzătorului şi temperatura secţiunii finale a acestuia. Analiza factorilor care influenţează tendinţele de retur al flăcării indică faptul că acestea apar în cazul unui grad ridicat de aerare — depăşind stoichiometria — datorită vitezelor maxime de propagare a frontului flăcării, precum şi la sarcini diminuate — caracterizate prin viteze reduse ale amestecului carburant.

Indicele de apariţie a negrului de fum în flacără a fost determinat pe baza corelării rapoartelor gradului de aerare cu valoarea limită a acestuia, corespunzătoare apariţiei negrului de fum în flacăra gazului de bază şi a celui de substituţie. Valori supraunitare indică un grad de aerare superior limitei arderii luminoase, conducînd la posibilitatea înlocuirii combustibililor gazoşi.

Bazaţi parţial pe analiza teoretică şi parţial pe elemente empirice, indicii Weaver [3] permit prevederea interschimbabilităţii combustibililor gazoşi pe baza relaţiilor :

— indicele de modificare a sarcinii termice :

$$I_h = \frac{Q_{i2}}{Q_{i1}} \left(\frac{\rho_{g1}}{\rho_{g2}}\right)^{0,5} \qquad \text{ideal } 1{,}0 ; \quad \text{admis } 0{,}94 - 1{,}06 ; \quad (11)$$

— indicele de modificare a gradului de aerare :

$$I_a = \frac{L_{02}}{L_{01}} \left(\frac{\rho_{g1}}{\rho_{g2}}\right)^{0,5} \qquad \text{ideal } 1{,}0 ; \quad \text{admis } 0{,}94 - 1{,}06 ; \quad (12)$$

— indicele de rupere a flăcării :

$$I_l = I_a \frac{S_{u2}}{S_{u1}} \frac{l - (O_2)_{c2}}{l - (O_2)_{c1}} \qquad \text{ideal } 1{,}0 ; \quad \text{admis } 0{,}64 ; \quad (13)$$

— indicele de retur al flăcării :

$$I_f = \frac{S_{u2}}{S_{u1}} - 1{,}4\, I_a + 0{,}4 \qquad \text{ideal } 0 ; \quad \text{admis } 0{,}08 ; \quad (14)$$

— indicele de formare a negrului de fum din flacără :

$$I_y = I_a + \frac{N_2 - N_1}{110} - 1 \qquad \text{ideal } 0 ; \quad \text{admis } 0{,}014 ; \quad (15)$$

— indicele de formare a oxidului de carbon ;

$$I_{CO} = I_a - 0{,}366 \frac{R_2}{R_1} - 0{,}634 \qquad \text{ideal } 0 ; \quad \text{admis } 0{,}1, \quad (16)$$

în care : S_u este viteza normală maximă de propagare a frontului flăcării, în cm/s ;
N — numărul atomilor de carbon eliberaţi cu „uşurinţă" prin ardere, raportat la 100 molecule combustibil gazos ; referitor la hidrocarburi saturate, ca de exemplu metanul, se presupune eliberarea unui atom de carbon pe moleculă ;
R — raportul atomilor de hidrogen din gazul combustibil la numărul atomilor de carbon din hidrocarburi.

Prevederea interschimbabilităţii combustibililor gazoşi pe baza indicilor anterior prezentaţi permite aprecierea posibilităţilor substituirii acestora cu diferite grade de certitudine corelate cu limitele aplicabilităţii şi abaterile tolerate.

3. Prevederea interschimbabilităţii combustibililor gazoşi pe baza diagramei de stabilitate a arderii

Utilizarea indicilor de interschimbabilitate a combustibililor gazoşi permite aprecierea rapidă, cu diferite grade de probabilitate, a posibilităţilor substituţiei acestora, fără a evidenţia eventualele reglaje şi/ sau modificări constructive ale arzătorului, implicate de substituirea combustibililor.

Abordarea caracteristicilor stabilităţii arderii în vederea pronosticării interschimbabilităţii combustibililor gazoşi necesită utilizarea diagramei stabilităţii arderii, reprezentînd curbele

limită de rupere, retur și zonă luminoasă funcție de gradul de aerare, care trebuie corelată cu obligativitatea asigurării sarcinii termice a arzătorului. Corelarea sarcinii termice cu condițiile de stabilitate a arderii este realizabilă prin transpunerea diagramei clasice de stabilitate în funcție de densitatea fluxului termic generat în secțiunea de ieșire a arzătorului și gradul de aerare. Transpunerea diagramei clasice a stabilității arderii în noile coordonate se realizează pentru curbele limită de retur, rupere și zonă luminoasă, prin determinarea analitică a densității fluxului termic (q) pe baza puterii calorifice inferioare a combustibilului gazos, a gradului de aerare (λ) și a vitezei de aducere a amestecului carburant (w), conform relației :

$$q = \frac{w\,Q_i}{1 + \lambda L_0} \quad [\mathrm{kW/m^2}]. \qquad (17)$$

Spre exemplificare, s-au trasat comparativ diagramele de stabilitate a arderii în cazul gazelor naturale, în varianta clasică — funcție de viteza de aducere a amestecului carburant și gradul de aerare, precum și în noile coordonate — funcție de densitatea fluxului termic și gradul de aerare. Aceste diagrame sînt prezentate în figura 3.

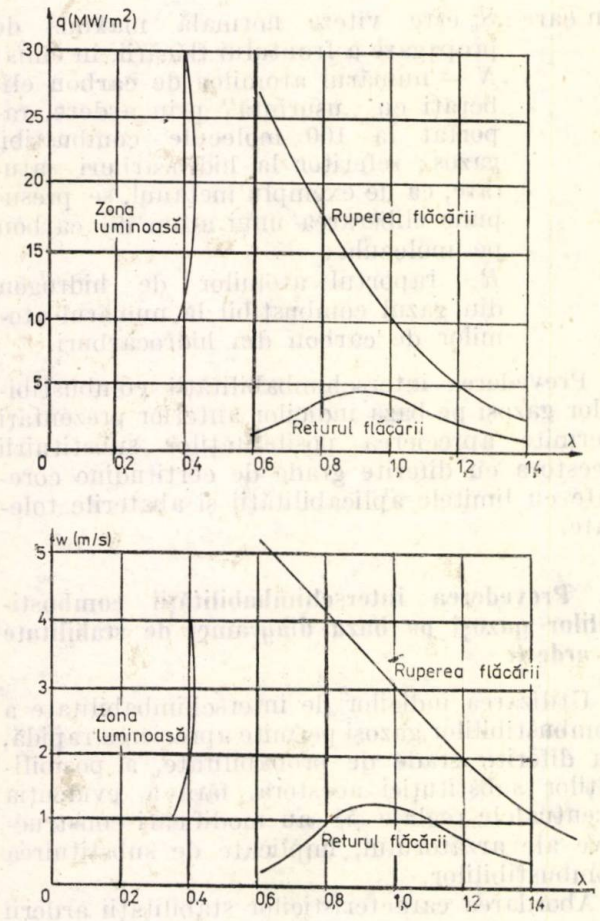


Fig. 3. Diagramele de stabilitate a arderii gazelor naturale în coordonate viteză — grad de aerare și densitate flux termic-grad de aerare

Estimarea posibilităților interschimbabilității combustibililor gazoși implică combinarea diagramelor de stabilitate a arderii în cazul combustibilului de bază și al celui de substituție. Utilizarea diagramelor de stabilitate a arderii necesită determinarea condițiilor de exploatare a arzătorului, rezultate în urma substituției.

În consecință, estimarea modificării sarcinii termice și implicit a densității fluxului termic este descrisă, practic, prin raportul cifrelor Wobbe corespunzătoare celor doi combustibili, permițînd determinarea densității fluxului termic (q_2) după substituție, în conformitate cu relația :

$$q_2 = q_1 \frac{Q_{i2}}{Q_{i1}} \left(\frac{\rho_{g1}}{\rho_{g2}}\right)^{0,5} \quad [\mathrm{kW/m^2}]. \qquad (18)$$

Gradul de aerare corespunzător celor doi combustibili rezultă din raportul aerului primar aspirat prin ejecție de către combustibilul gazos și aerul necesar arderii stoichiometrice. Corelînd gradele de aerare a combustibilului de bază și a celui de substituție și avînd în vedere egalitatea secțiunilor corespunzătoare accesului combustibilului și aerului necesar arderii, precum și a suprapresiunilor acestora, rezultă posibilitatea estimării modificării gradului de aerare prin substituție, conform relației :

$$\lambda_2 = \lambda_1 \frac{L_{01}}{L_{02}} \left(\frac{\rho_{g2}}{\rho_{g1}}\right)^{0,5}. \qquad (19)$$

Practic, estimarea interschimbabilității combustibililor gazoși implică cunoașterea diagramei de stabilitate a arderii combustibilului de substituție (în coordonate densitate flux termic — grad de aerare) și evidențierea parametrilor funcționali ai arzătorului utilizînd gazul de bază. Cu ajutorul parametrilor funcționali corespunzători gazului de bază, în conformitate cu relațiile (18) și (19), se determină modificarea parametrilor funcționali ai arzătorului după substituție. Identificînd în diagrama de stabilitate a arderii parametrii funcționali ai arzătorului în cazul gazului de substituție, în ipoteza unei funcționări în domeniul de stabilitate corespunzător combustibilului de substituție, este posibilă interschimbabilitatea combustibililor gazoși, cu modificările corespunzătoare ale parametrilor arderii.

Estimarea domeniului de reglaj al instalației de ardere utilizînd gazul de bază în care este posibilă interschimbabilitatea combustibililor este realizabilă prin suprapunerea diagramelor de stabilitate a arderii corespunzătoare celor

doi combustibili. De asemenea, este necesară determinarea parametrilor funcţionali ai instalaţiei de ardere utilizînd combustibilul de bază, care corespund după substituţie limitelor de stabilitate a arderii combustibilului de substituţie. Astfel, exprimînd din relaţiile (18) şi (19) densitatea fluxului termic (q_1) şi gradul de aerare (λ_1) ale combustibilului de bază pentru valorile corespunzătoare limitelor de stabilitate a arderii combustibilului de substituţie, rezultă curbele modificate ale stabilităţii arderii corespunzătoare combustibilului de substituţie. Domeniul de reglaj al arzătorului utilizînd combustibilul de bază, pentru care este posibilă substituirea combustibililor gazoşi, este domeniul comun de stabilitate a arderii gazului de bază şi rezultă din curbele modificate ale stabilităţii corespunzătoare combustibilului de substituţie.

În vederea obţinerii unor parametrii funcţionali identici după substituţie, apare necesară modificarea suprapresiunii şi/sau a secţiunii de acces a combustibilului gazos de substituţie, ceea ce implică determinarea densităţii fluxului termic pe baza relaţiei :

$$q_2 = q_1 \frac{Q_{i2}}{Q_{i1}} \left(\frac{\rho_{g1}}{\rho_{g2}}\right)^{0,5} \frac{S_2}{S_1} \left(\frac{\Delta p_2}{\Delta p_1}\right)^{0,5} \text{[kW/m}^2\text{]} \quad (20)$$

respectiv a gradului de aerare, conform relaţiei :

$$\lambda_2 = \lambda_1 \frac{L_{01}}{L_{02}} \left(\frac{\rho_{g2}}{\rho_{g1}}\right)^{0,5} \frac{S_1}{S_2} \left(\frac{\Delta p_1}{\Delta p_2}\right)^{0,5} \quad (21)$$

Pe de altă parte, modificarea secţiunii de trecere a combustibilului gazos se determină pe baza coeficientului de ejecţie, conform relaţiei :

$$S_2 = S_1 \frac{(1 + \lambda_1 L_{01})\left(1 + \frac{\lambda_1 L_{01}}{\rho'_{g1}}\right)}{(1 + \lambda_2 L_{02})\left(1 + \frac{\lambda_2 L_{02}}{\rho'_{g2}}\right)} \text{[m}^2\text{]} \quad (22)$$

Spre exemplificare s-au luat în considerare gazele naturale — constînd practic din metan — şi gazele naturale sărace, avînd compoziţia : CH_4 60% şi N_2 40%. Diagramele de stabilitate a arderii celor doi combustibili gazoşi — pe baza densităţii fluxului termic şi a gradului de aerare — sînt prezentate în figura 4. De asemenea, caracteristicile relevante din punctul de vedere al interschimbabilităţii celor doi combustibili gazoşi sînt : aerul necesar arderii stoichiometrice — $L_{01} = 9{,}524$ m^3/m^3, $L_{02} = 5{,}714$ m^3/m^3, densitatea în condiţii normale precum şi cea relativă faţă de aer — $\rho_{g1} = 0{,}714$ kg/m^3, $\rho_{g2} = 0{,}928$ kg/m^3, $\rho'_{g1} = 0{,}552$, $\rho'_{g2} = 0{,}718$, precum şi puterea calorifică inferioară corespunzătoare celor doi combustibili — $Q_{i1} = 35\,719$ kJ/m^3, $Q_{i2} = 21\,431$ kJ/m^3. Astfel, în cazul unui arzător utilizînd gaze naturale avînd parametrii funcţionali : $q_1 = 10$ MW/m^2 şi $\lambda_1 = 0{,}5$, la substituirea cu gaze naturale sărace fără modificarea reglării şi/ sau a secţiunii combustibilului rezultă modificarea parametrilor funcţionali : $q_2 = 5{,}26$ MW/m^2 şi $\lambda_2 = 0{,}95$, fiind însă în interiorul domeniului de stabilitate a arderii gazului de substituţie.

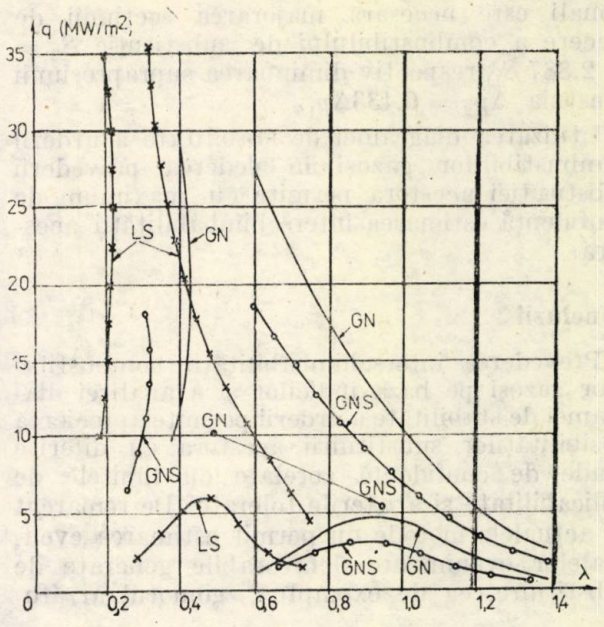


Fig. 4. Determinarea interschimbabilităţii gazelor naturale cu gazele naturale sărace pe baza diagramei de stabilitate a arderii ; GN — gaze naturale ; GNS — gaze naturale sărace ; LS — limitele satisfăcătoare de interschimbabilitate.

Pe de altă parte, prin determinarea curbelor modificate ale stabilităţii corespunzătoare combustibilului de substituţie — care reprezintă limitele satisfăcătoare ale interschimbabilităţii — şi prin corelarea acestora cu limitele de stabilitate a combustibilului de bază rezultă domeniul comun de stabilitate a arderii. Acesta reprezintă, practic, domeniul parametrilor funcţionali ai combustibilului de bază — gaze naturale — pentru care prin substituirea combustibililor are loc arderea stabilă a gazului de substituţie — gaze naturale sărace. De remarcat că substituirea combustibililor gazoşi fără modificarea reglajului şi/ sau a dimensiunii secţiunii ajutajului implică modificarea parametrilor funcţionali ai instalaţiei de ardere.

În vederea păstrării parametrilor funcţionali ai arzătorului după substituţia combustibililor gazoşi, este necesară determinarea secţiunii ajutajului gazului de substituţie, pe baza relaţiei (22), urmată de calculul modificării suprapresiunii combustibilului pe baza relaţiei (20) sau (21). În cazul exemplificat, pentru menţinerea după substituire a parametrilor func-

ţionali este necesară majorarea secţiunii de trecere a combustibilului de substituţie $S_2 = 2{,}887\, S_1$, respectiv diminuarea suprapresiunii acestuia $\Delta p_2 = 0{,}433 \Delta p_1$.

Utilizarea diagramei de stabilitate a arderii combustibililor gazoşi în vederea prevederii substituţiei acestora permite cu maximum de confidenţă estimarea interschimbabilităţii acestora.

Concluzii

Prevederea interschimbabilităţii combustibililor gazoşi pe baza indicilor şi a analizei diagramei de stabilitate a arderii permite aprecierea posibilităţilor substituirii acestora cu diferite grade de confidenţă corelate cu limitele de aplicabilitate şi abaterile tolerate. De remarcat că actualele metode nu permit estimarea eventualelor evenimente defavorabile generate de substituire, ca de exemplu: zgomotul arzătorului, posibilităţile de aprindere, riscul returului la închidere, miros etc.

Gradul cel mai ridicat de confidenţă pentru a prevedea interschimbabilitatea combustibililor gazoşi este conferit de determinările experimentale pe arzătoarele de testare sau pe variantele cele mai reprezentative.

Bibliografie

[1] Pănoiu, N. ş.a. *Instalaţii de ardere.* Editura Tehnică, Bucureşti, 1968.

[2] Gillard, J. *Der Wobbe-Index von Gasgemischen und Schlussfolgerung, für die Auslegung von Mischstationen.* În: Gas-Wärme-International, nr. 8, 1984.

[3] Weber, J. E. *Interchangeability of fuel gases.* În: Combustion Engineering Handbook, Chicago, 1977.

[4] Dutton, B. C., Gimecvski. *Gas interchangeability: prediction of flame lift,* In: Journal of the Institute of Energy, nr. 6, 1983.

[5] Wierzba, I., Karim G. A. *Prediction of the lean flammability limit of fuel mixtures: a grafical approach* In: Journal of the Institute of Energy, nr. 6, 1983.

(Primit la 15 februarie 1988, acceptat la 27 iulie 1989)

NOUTĂŢI

Din energetica mondială

MĂRIREA DISTANŢEI DINTRE STAŢIILE DE COMPRESOARE LA MAGISTRALELE DE GAZE NATURALE

În publicaţia sovietică „Energhiia economie", nr. 6/1988 a apărut un articol sub semnătura lui Cernobilski în care, pe linia introducerii tehnologiilor noi, cu consumuri energetice mai reduse, se propune ca în domeniul transportului gazelor naturale să se mărească pasul dintre staţiile de compresoare, practic dublîndu-l, la 200—240 m. În acest context, se are în vedere menţinerea soluţiilor actuale de la toate mijloacele tehnice componente: conducte, agregate, aspiratoare de praf, răcitoare cu aer etc.

Datorită măsurii propuse vor scădea cheltuielile actualizate specifice. În timp ce viteza de deplasare a gazelor scade cu 29%, consumul de gaze scade la jumătate.

Pentru a se asigura capacitatea prescrisă este necesară mărirea numărului de fire de 1,5 ori. Dublarea pasului măreşte coeficientul de siguranţă al fiecărui segment monofilar al conductei magistrale de gaze. Totodată se micşorează personalul de exploatare cu 40%. Volumul lucrărilor de execuţie a conductelor de gaze scade cu 8%.

(După „Referativnii jurnal, 22, Energhetika, nr. 10/1988 poz. 10T140)

ANALIZA TEHNICO-ECONOMICĂ A PROCESELOR DE PROSPECTARE, EXTRACŢIE ŞI PRELUCRARE A ŢIŢEIULUI

Suplimentul „Notice nr. 1" al revistei franceze „Cahiers francaises" publică articolul cu titlul *La filiere petrol* semnat de Boy de la Tour Xavier, în care este redată o scurtă, dar foarte interesantă analiză tehnico-economică a diferitelor etape ale ciclului de obţinere a ţiţeiului, inclusiv forajul de prospectare şi de exploatare, depozitarea, transportul şi prelucrarea ţiţeiului.

Ponderea cea mai importantă în costurile totale ale prospectării sau exploatării o deţin cheltuielile de foraj cu următoarele valori, în procente:

A. La prospectare:

- între 65 şi 75% la prospectarea zăcămintelor continentale;
- între 70 şi 80% la prospectarea celor marine.

B. La exploatare:

- între 50 şi 60% la exploatarea zăcămintelor continentale;
- între 45 şi 55% la exploatarea zăcămintelor marine.

Costul total al extracţiei, în dol/t, diferă de la zonă la zonă; de exemplu:

- zăcăminte continentale în ţările Orientului apropiat: 6,29;
- zăcăminte marine în Orientul apropiat; 25,2—50,2;
- S.U.A.: 62,9—94,3.

Costul mediu al transportului ţiţeiului cu ajutorul petrolierelor, cu o capacitate de 250 mii tone, din ţările Orientului apropiat în Europa, este de 6,29 dol/t.

Ponderea diferitelor componente ale costului produselor din ţiţei în ţările dezvoltate industrial este (în %) următoarea:

- procuparea: 35
- transportul pe mare: 7
- prelucrarea (petrochimia): 14—20
- pierderi la prelucrare: 7
- distribuţia produselor petroliere: 35—45.

Protejarea acționării morilor ventilator la suprasarcină cu ajutorul cuplajelor centrifugale cu alice

Ing. MIHAI PLOSCARU, ing. MIHAI LAURIC, ing. MIHAELA GHERASE*

Descriptori: mori de cărbune, cuplaje pentru mori de cărbune

Lucrarea se referă la cuplajele centrifugale cu alice, cuplaje care își găsesc o utilizare din ce în ce mai largă în numeroase aplicații din termoenergetică și alte domenii.

Lucrarea precizează situarea acestora în raport cu celelalte tipuri de cuplaje mecanice, hidrodinamice și electromagnetice.

Sînt tratate aspectele teoretice ale funcționării cuplajelor cu alice stabilind relații matematice pentru alegere și dimensionare.

Se analizează stadiul utilizării în centralele termoelectrice și posibilitățile de extindere.

În final, lucrarea abordează problemele referitoare la la raționalizarea producerii acestora propunînd o gamă de tipodimensiuni.

This report refers to centrifugal pellets couplings which are used on an ever wider scale in the field of thermal energy as well as other branches.

Their place as compared to osher types of couplings: mechanic, hydrodynamic and electromagnetic, is established.

Theoretical aspects of pellet couplings operation are approached and mathematical relations for their choice and dimensioning are established.

Their use stage within thermal power plants and its extending possibilities are analysed.

Finally, problems referring to their manufacturing efficiency are pinpointed. A range of dimensional types is proposed.

Generalități

În cele ce urmează vom numi cuplajele centrifugale cu alice prescurtat „cuplaje cu alice".

Cuplajele cu alice sînt cuplaje mecanice, intermitente, automate, centrifugale cu umplutură, care au următoarele funcții principale:

— transmitere de mișcare și moment;
— limitare de sarcină;
— protecție la șocuri;
— limitare de turație (inferioară).

Combinat cu un cuplaj cu element elastic (bolțuri, lamele sau role) poate realiza și funcția de compensare (axială, radială, unghiulară).

Funcțiile cuplajelor cu alice sînt aceleași cu cele ale cuplajelor hidrodinamice, cu care le vom compara în cadrul prezentei lucrări.

Cuplajul cu alice (fig. 1) se compune dintr-un rotor (2) pe care sînt fixate paletele de uzură (3) care se rotesc în interiorul unei carcase (1). Lagărele, asigurînd poziția relativă a rotorului față de carcasă, pot fi de alunecare (bucșe de uzură, 4) sau de rostogolire (rulmenți cu ace). Rotorul cuplajului se fixează pe arborele părții de antrenare (electromotor).

Carcasa cuplajului cu alice se fixează pe arborele părții antrenate prin intermediul unui cuplaj elastic (5) cu bolțuri (7) sau lamele (6), care asigură protecția electromotorului la vibrații și abateri de poziție, avînd și rolul de a facilita montarea și demontarea cuplajului cu alice.

Spațiul dintre rotor și carcasă este parțial umplut cu alice.

1. Regimuri de funcționare

1.1. Pornirea

La conectarea motorului electric de acționare, paletele rotorice ating turația nominală într-un interval (T_M) relativ scurt (fig. 2), rotindu-se în masa de alice aflate inițial în repaos. Alicele sînt antrenate, centrifugate spre periferia zimțată a carcasei, aglomerîndu-se în fața paletelor rotorice prin fantele cărora trec.

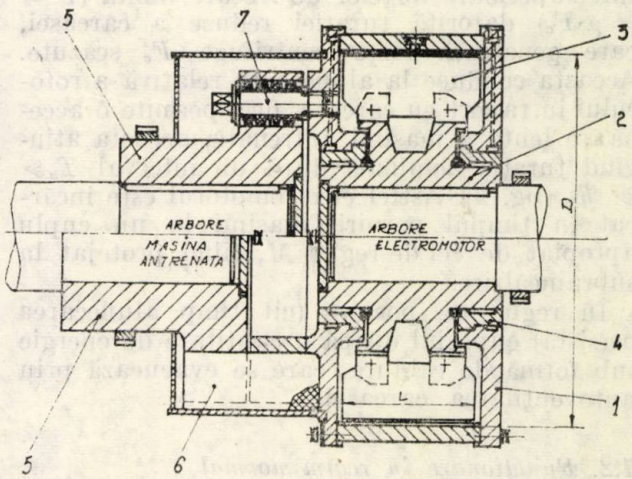


Fig. 1. Părțile componente ale unui cuplaj cu alice: 1—carcasă cuplaj; 2—rotor cuplaj; 3—paletă rotorică; 4—lagăr; 5—semicuplaj elastic; 6—lamelă de cauciuc; 7—bolț.

* Ing. Mihai Ploscaru, ing. Mihai Lauric, ing. Mihaela Gherase — Institutul de Cercetări și Modernizări Energetice, București.

În această fază alicele se comportă în chip de corpuri individuale, formînd o masă cvasifluidă. Forţele de frecare interne din masa de alice în mişcare transmit treptat carcasei, prin intermediul stratului limită, un moment de antrenare. Astfel maşina este pusă în miş-

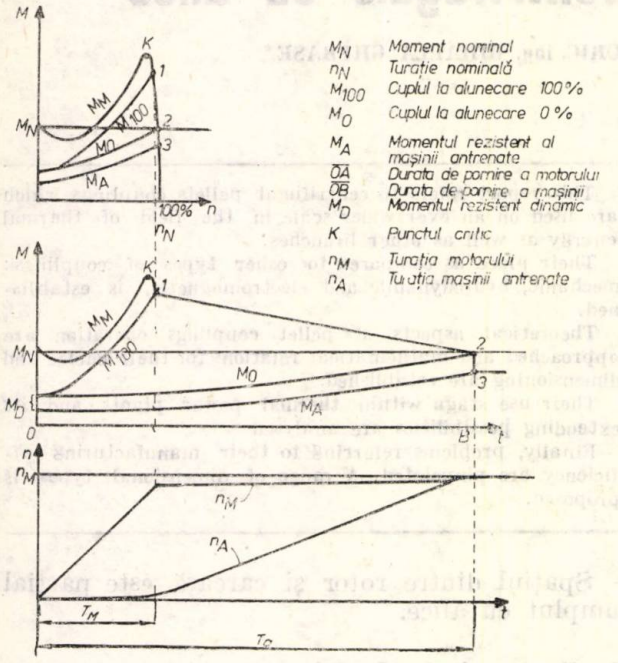


Fig. 2. Regimul de pornire al cuplajului centrifugal cu alice.

care accelerată. Pe măsură ce turaţia carcasei creşte, forţele centrifugale reduc libertatea de mişcare a alicelor, micşorînd treptat, pînă la anulare, alunecarea carcasei faţă de rotor prin creşterea forţelor de frecare.

În acest regim tranzitoriu, forţele de frecare necesare transmiterii cuplului $\left(F_{nec} = \frac{M}{R}\right)$ sînt superioare forţelor de frecare limită ($F = \mu \cdot F_c$) datorită turaţiei reduse a carcasei, care generează forţe centrifuge F_c scăzute. Aceasta conduce la alunecarea relativă a rotorului în raport cu carcasa, deci permite o accelerare lentă a maşinii antrenate, aceasta atingînd turaţia nominală după un interval $T_a \gg T_M$ (fig. 2). Astfel electromotorul este încărcat în timpul pornirii maşinii la un cuplu apropiat de cel de regim M, fiind protejat la supraîncălzire.

În regim de pornire (cît timp alunecarea persistă) cuplajul disipă o cantitate de energie sub formă de căldură, care se evacuează prin autoventilarea carcasei.

1.2. Funcţionare în regim normal

Cînd carcasa şi implicit maşina antrenată a atins turaţia motorului de antrenare (alunecare nulă), momentul motor este transmis integral

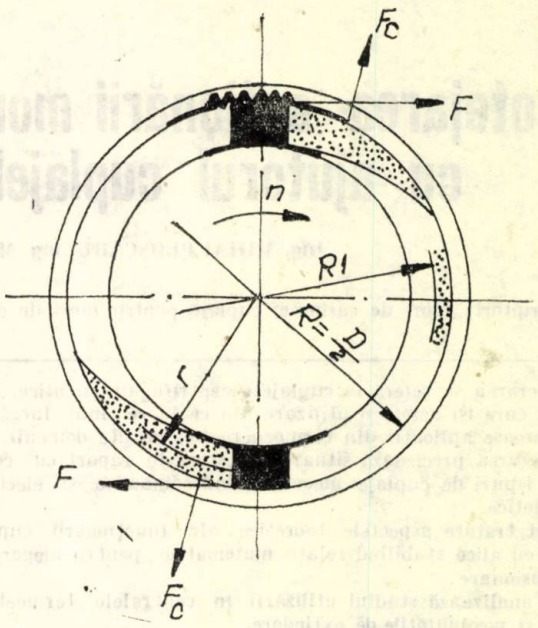


Fig. 3. Aspecte teoretice ale funcţionării

$$N = \frac{M \cdot n}{9\,550}$$

$$M = F \cdot R$$

$$F = \mu F_c = \mu \cdot m_a \cdot \omega^2 \cdot r = \mu \cdot m_a \cdot \frac{\pi^2}{30^2} \cdot n^2 \cdot r$$

$$r = \frac{2}{3} \cdot R \cdot \frac{\varphi}{1-(1-\varphi)^{2/3}}$$

$$M = \frac{2 \cdot \pi^2 \cdot \mu}{3 \cdot 30^2} \cdot \frac{\varphi}{1-(1-\varphi)^{2/3}} \cdot m_a \cdot n^2 \cdot R^2$$

$$N = \frac{2\pi^2\,\mu}{3 \cdot 30^2 \cdot 9550} \cdot \frac{\varphi}{1-(1-\varphi)^{2/3}} \cdot m_a \cdot n^3\, R^2$$

$$m_a = \rho_a \cdot \pi \cdot R^2 \cdot L \cdot [1-(1-\varphi)^{2/3}]$$

$$N = \frac{2\pi^3 \cdot \mu \cdot \rho_a}{3 \cdot 30^2 \cdot 9550} \cdot n^3 \cdot R^4 \cdot L \cdot \varphi$$

$$k = \frac{2\pi^3 \cdot \mu \cdot \rho_a}{3 \cdot 30^2 \cdot 9550} = 2{,}4 \cdot 10^{-6} \cdot \mu \cdot \rho_a$$

(1) $N = (k \cdot n^3 \cdot R^4 \cdot L)\varphi = N_0 \cdot \varphi$

(2) $\varphi = \frac{N}{N_0} = 1 - \left(\frac{R_1}{R}\right)^3$

(3) $m_a = \pi\, \rho_a \cdot R^2 \cdot L \left[1 - \left(1 - c\,\frac{N}{N_0}\right)^{2/3}\right]$

$\varphi = 0{,}3 \div 0{,}35$

unde $c \cong R^2 + 5{,}65\ R - 0{,}1$ (stabilit experimental)

de cuplul de forţe de frecare dintre barajele de alice formate în faţa paletelor şi carcasă.

În această situaţie forţele necesare transmiterii cuplului $F = \left(\frac{M}{R}\right)$ sînt inferioare forţelor de frecare limită ($F = \mu \cdot F_c$), cuplajul nu mai permite alunecări, deci energia disipată este

nulă. Aceasta prezintă avantajul utilizării integrale a puterii debitate de motor, deci creşterea randamentului întregii instalaţii.

1.3. Reacţia la suprasarcini

În situaţia creşterii cuplului rezistent la maşina antrenată, forţele necesare transmiterii cuplului $\left(F_s = \frac{Ms}{R}\right)$ depăşesc forţele de frecare limită, rămase constante — turaţia rămînînd constantă ($F = \mu \cdot F_c$). Aceasta duce la alunecarea şi deci la disiparea şocului sub formă de căldură la nivelul cuplajului, de unde se evacuează prin autoventilare. Astfel motorul electric este protejat la suprasarcină. Dacă suprasarcina este de durată căldura nu mai poate fi evacuată, astfel încît se poate ajunge la supraîncălzirea cuplajului, chiar la topirea alicelor, situaţie ce trebuie evitată în exploatare.

Pentru evitarea neajunsurilor provocate de funcţionarea cu alunecare timp îndelungat, cuplajele cu alice se dotează cu un sistem de alarmă ce semnalizează funcţionarea cu alunecare (electric, optic, mecanic).

2. Compararea cu alte tipuri de cuplaje

2.1. Cuplajele hidrodinamice

Acestea sînt de asemenea cuplaje centrifugale. Mediul de lucru este uleiul. Puterea transmisă poate fi reglată, în anumite limite, prin cantitatea de ulei introdusă. Spre deosebire de cuplajele cu alice, cuplajele hidrodinamice:

— admit alunecări de 2 — 5% în funcţionarea de regim, cu diminuarea corespunzătoare a puterii şi a randamentului;

— la turaţia nominală transmit aproape integral variaţiile de cuplu.

2.2. Cuplajele cu element elastic:

— admit abateri de poziţie relativă a axelor motor — maşină antrenată;

— nu permit alunecări, deci nu protejează electromotorul la porniri în sarcină sau în suprasarcină;

— compensează şi amortizează vibraţiile torsionale de mică amplitudine, spre deosebire de cuplajul cu alice care transmite integral aceste vibraţii la funcţionarea fără alunecare.

Calităţile cuplajului cu alice se completează cu cele ale cuplajului mecanic cu elemente elastice, motiv pentru care se utilizează împreună (vezi fig. 1).

2.3. Cuplajele electromagnetice:

— solicită un nivel tehnologic mai ridicat decît cuplajele cu alice;

— permit alunecări în funcţionare normală, cu pierderi aferente;

— consumă suplimentar energie electrică în timpul funcţionării;

— necesită întreţinere de calificare superioară;

— stabilitate relativ redusă a caracteristicilor mecanice cu variaţia temperaturii.

Aceste caracteristici le fac improprii utilizării în centralele electrice.

2.4. Avantajele şi dezavantajele acţionării morilor ventilator prin cuplaje cu alice în raport cu celelalte tipuri de cuplaje

2.4.1. Cuplajele cu alice au un domeniu larg de aplicabilitate (0,3 — 5000 kW), cu următoarele calităţi:

— asigură pornirea lentă a maşinii antrenate, protejînd electromotorul;

— limitează cuplul la suprasarcini de mică durată;

— în regim de funcţionare normală asigură alunecare nulă, deci randament bun;

— în regim de funcţionare fără alunecare sînt silenţioase;

— pot fi utilizate în medii cu praf şi umiditate.

2.4.2. Principalele dezavantaje sînt:

— uzarea relativ rapidă a alicelor (necesită înlocuirea încărcăturii la circa 50 de porniri);

— pericolul supraîncălzirii la suprasarcini de durată, cu efecte negative asupra integrităţii.

2.4.3. Atît cuplajele hidrodinamice, cît şi cuplajele mecanice cu element elastic transmit cvasiintegral şocurile de la rotorul morii la electromotor (sînt transparente la suprasarcini).

Cuplajele electromagnetice care ar putea fi corespunzătoare sub aspect funcţional nu pot fi utilizate în condiţile de mediu din centrelele electrice pe cărbune.

Problema acţionării morilor ventilator poate fi rezolvată optim numai prin utilizarea cuplajelor centrifugale cu alice, care admit alunecări la pornire şi suprasarcini, în schimb realizează transmiterea mişcării fără pierderi de energie, permiţînd astfel o dimensionare judicioasă a electromotorului.

3. Aspecte teoretice ale funcţionării

3.1. Relaţia încărcare alice-putere transmisă

Transmiterea mişcării prin intermediul acestui tip de cuplaje se bazează pe formarea de baraje din alice (presate pe peretele cilindric interior al carcasei de către forţele centrifuge) în faţa paletelor rotorice. Forţele de frecare ce iau naştere pe suprafaţa de contact a acestor

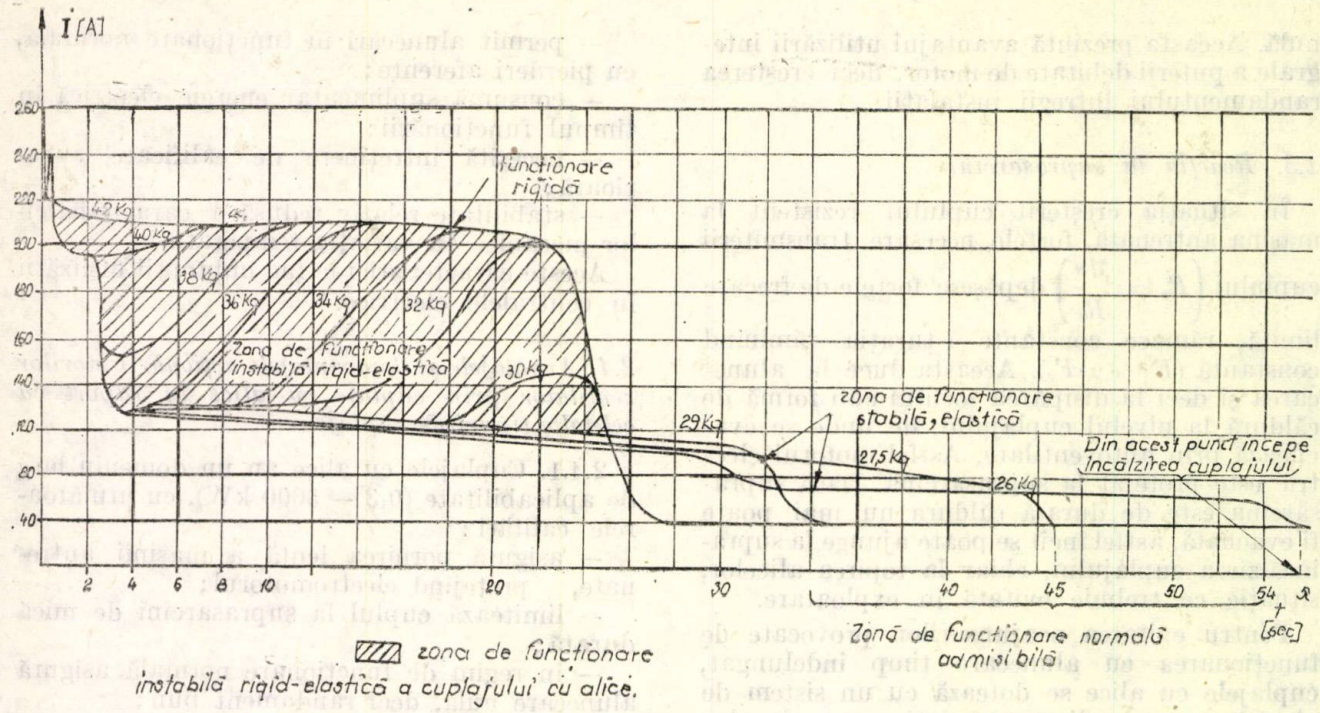


Fig. 4. Zonele de funcționare ale cuplajului cu alice CA 600 la încărcarea cu diverse cantități de alice.

baraje cu carcasa, formează un cuplu ce transmite momentul de antrenare carcasei cuplajului și, implicit, mai departe, mașinii antrenate (fig. 3).

Pornind de la aceste considerente, în figura 4 s-a determinat — relația (1) — dependența puterii transmise de un cuplaj cu alice cu dimensiuni cunoscute (R, L) în raport cu turația (n) și coeficientul de umplere (φ).

Se observă că un anumit cuplaj, utilizat la turația „n", poate transmite teoretic orice putere între O și N_0.

Experimental s-a stabilit că domeniul utilizabil de umplere este :

$$\varphi \in (0{,}3 - 0{,}35).$$

Limitările sînt impuse de următoarele :

a) carcasa nu poate fi total umplută cu alice dat fiind spațiul ocupat de rotor. Deci nu se poate atinge puterea N_0;

b) la un grad de umplere înalt ($\varphi > 0{,}35$) cuplajul devine rigid, împiedicînd total alunecările, ceea ce conduce la o exploatare nejudicioasă a motorului electric de antrenare, rolul de protecție fiind astfel anulat;

c) la un grad de umplere redus ($\varphi < 0{,}30$) cuplajul nu mai asigură forțe de frecare suficient de mari pentru transmiterea puterii, permițînd alunecări (continui sau intermitente), ceea ce conduce la supraîncălziri, uneori chiar la topirea alicelor.

3.2. Proiectarea și utilizarea cuplajelor cu alice

3.2.1. Principala problemă care se pune în fața proiectantului este alegerea dimensiunilor carcasei cuplajului (R, L) în raport cu puterea și turația. Pentru a facilita dimensionarea se prezintă în tabelul 1 gama de puteri transmisibile la turații între 300 și 3000 rot/min prin cuplajele cu alice cu diametrul interior al carcasei între 120 și 1000 mm[5].

Cu R astfel ales și cu o valoare medie a coeficientului de umplere φ (de ex. $\varphi = 0{,}32$) se determină lungimea L.

Cantitatea corespunzătoare de alice se calculează cu relația (3).

Se utilizează alice din fontă, cu următoarele caracteristici :

— diametrul : 0,8 — 2,5 mm ;

— duritatea : min. 600 HB.

3.2.2. Problema utilizatorului de cuplaje constă în determinarea, pentru un cuplaj cu alice existent (R, L) a capacității de a transmite o anumită putere (N) la turația (n) păstrîndu-și în limite convenabile calitatea de alunecare la demaraj și suprasarcină, însă cu transmitere integrală în regim normal.

Cunoscînd N, n, R, L, utilizatorul poate calcula puterea fictivă N_0, cu care apoi poate determina coeficientul de umplere φ (rel. (2)) care trebuie să se situeze în intervalul admis (0,3 ÷ 0,35).

Dacă valoarea calculată a lui φ se abate de la acest domeniu, utilizarea cuplajului respectiv (R, L) nu este indicată pentru condițiile (N, n) date :

— pentru $\varphi < 0{,}3$, figurile 5 și 6, apare riscul alunecării permanente sau cel puțin al demarajului prelungit periculos (supraîncălzirea cuplajului) ;

— pentru $\varphi > 0{,}35$ apare riscul rigidizării cuplajului care duce la suprasolicitarea electromotorului la demaraj sau suprasarcini.

Puterea transmisă (kW) la turația (rot/min) *Tabelul 1*

TIP \ TURAȚIA	300	450	600	600	750	1000	1500	3000
120					0,35 ÷ 0,65	0,45 ÷ 1,20	0,80 ÷ 3,20	3,70 ÷ 18,40
180					0,50 ÷ 1,25	1,40 ÷ 2,20	2,90 ÷ 6,25	18,50 ÷ 40,50
200					1,25 ÷ 2,95	2,60 ÷ 5,50	6,60 ÷ 14,70	40,5 ÷ 95,5
220			0,75 ÷ 1,85	—	1,65 ÷ 4,40	3,7 ÷ 8,10	10,3 ÷ 24,3	73,6 ÷ 161,8
250			1,6 ÷ 3,0	—	4,4 ÷ 8,1	8,1 ÷ 16,2	24,3 ÷ 47,8	
280			3,0 ÷ 6,25	—	8,8 ÷ 17,0	17,0 ÷ 35,3	48,5 ÷ 110,3	
300			5,5 ÷ 9,6	—	14,7 ÷ 25,0	25,7 ÷ 55,2	80,9 ÷ 183,8	
350			9,6 ÷ 18,4	—	25,0 ÷ 51,5	51,5 ÷ 125,0	161,8 ÷ 478,0	
400			14,0 ÷ 32,4	—	44,0 ÷ 95,6	99,3 ÷ 202,3	294,0 ÷ 625,0	
450			33 ÷ 66,2	—	92,0 ÷ 184,0	202 ÷ 397,0	625,0 ÷ 1177,0	I.E. DOICEȘTI
500			66,2 ÷ 117,7	—	183,8 ÷ 360,4	394,0 ÷ 735,5		
550			95,6 ÷ 191,2	—	287,0 ÷ 515,0	515,0 ÷ 1177		
600		73,6 ÷ 184,0	110,3 ÷ 220,6	162,0 ÷ 331,0	294,2 ÷ 625,2			I.E. ORADEA
650		117,7 ÷ 272,1	169,2 ÷ 338,3	264,8 ÷ 551,6	459,7 ÷ 882,6			
700		198,6 ÷ 367,8	242,7 ÷ 529,6	404,5 ÷ 823,2	734 ÷ 1471			
750		265 ÷ 558,4	384,5 ÷ 717,1	551,6 ÷ 1140	956,2 ÷ 2206,5			
800	154,5 ÷ 294,2	386,1 ÷ 662,0	476,0 ÷ 958,2	809 ÷ 1397,5	1471 ÷ 2574,0			
850	220,6 ÷ 367,8	515,0 ÷ 1030	669,3 ÷ 1140	1103 ÷ 1912,3	1838 ÷ 3310			
900	367,8 ÷ 625,2	809,0 ÷ 1471	1030 ÷ 1838	1545 ÷ 3310	2942 ÷ 5148,5			
950	478 ÷ 809	1177 ÷ 2133	1434 ÷ 2501	2574 ÷ 4413				
1000	662 ÷ 1103	1545 ÷ 2721	2060 ÷ 3310	3380 ÷ 5884				

Odată cuplajul verificat prin valoarea coeficientului de umplere se determină masa de alice necesară cu relația (3). Această relație, dedusă analitic mai sus a fost corectată cu un coeficient c, determinat experimental.

3.2.3. În figura 4 prezentăm comportarea cuplajului cu alice CA 600 ($R = 0{,}3$ m, $L = 0{,}18$ m) la pornirea morii MV 40, acționate de un electromotor asincron de 500 kW și 750 rot/min în condiții de umplere diferite (26 ÷ 42 kg alice).

Din calculul efectuat pe baza teoriei dezvoltate mai sus a rezultat o cantitate ideală $m_a = 28$ kg.

Se observă că:

— la încărcare inferioară (26 kg $= 0{,}93 \cdot m_a$) timpul de demarare crește la peste 60 s, cu supraîncărcarea cuplajului;

— la încărcări cuprinse între 26 și 29 kg ($0{,}93 \div 1{,}04 \cdot m_a$) cuplajul funcționează corect, cu timpi de demaraj de 34 ÷ 45 s, motorul absorbind de la rețea un curent 125 ÷ 75 A după depășirea intervalului de demaraj în gol (2s), față de 100 A — nominal;

— la încărcarea cuplajului cu alice peste 30 kg $= 1{,}07 \cdot m_a$ se observă tendința de rigidizare din ce în ce mai accentuată, curentul depășind valori de 200 A timp de peste 20 s, ceea ce periclitează integritatea motorului electric;

— la încărcarea cu peste 40 kg $= 1{,}43 \cdot m_a$ cuplajul se comportă ca un cuplaj mecanic fără alunecări, deci devine inutil.

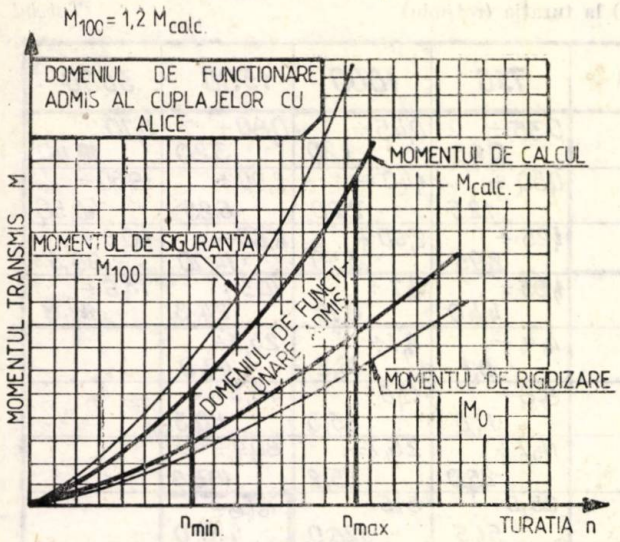


Fig. 5. Stabilirea domeniului de funcţionare admis pentru cuplaje centrifugale cu alice.

În concluzie, abaterea admisă la încărcarea cuplajului cu alice este de maximum $\pm 5\%$ în raport cu valoarea calculată. Abateri mai mari duc la periclitarea fie a electromotorului, fie a cuplajului în sine.

Concluzii

1. Utilizarea cuplajelor cu alice la acţionarea morilor ventilator în raport cu cuplajele cu element elastic (semirigide), hidrodinamice şi electromagnetice, prezintă avantajul că în condiţii de funcţionare normală transmit integral puterea, fără pierderi de energie sau turaţie. La pornire funcţionează cu alunecare, deci nu este necesară supradimensionarea electromotorului pentru pornire.

2. Autorii propun o metodă originală, operativă de dimensionare a cuplajelor cu alice. Se pune la dispoziţia utilizatorilor o relaţie (determinată analitic şi corijată experimental) pentru calculul încărcării optime cu alice a unui cuplaj dat, după verificarea încadrării acestuia în domeniul putere — turaţie necesar.

3. Încărcarea cuplajului cu cantitatea de alice prescrisă este esenţială pentru funcţionarea corectă a acestuia. Deasupra limitei superioare cuplajul lucrează rigid. Sub limita inferioară a zonei optime, cuplajul funcţionează cu alunecare continuă, ceea ce duce la supraîncălzirea şi deteriorarea sa.

4. Pe baza acestor considerente a fost propusă o gamă de tipodimensiuni optimă, ce acoperă transmiterea unor puteri de la 0,3 la 5000 kW cu turaţii între 300 ÷ 3000 rot/min (tabelul 1).

5. În afară de acţionarea morilor ventilator, utilizarea cuplajelor cu alice poate fi extinsă în toate acţionările care utilizează cuplaje hidrodinamice (costisitoare şi greu de întreţinut) şi a celor cu element elastic (care necesită supradimensionarea electromotorului la pornire).

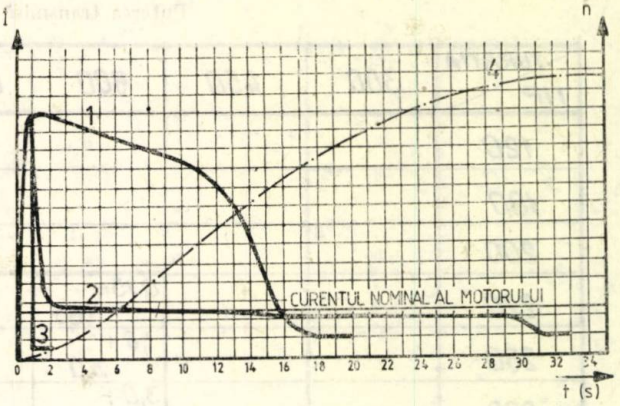


Fig. 6. Variaţia curentului la pornirea maşinii antrenate de motor electric trifazat asincron: 1 — curba curentului de pornire cu cuplaj mecanic cu element elastic; 2 — curba curentului de pornire cu cuplaj cu alice; 3 — curba curentului de pornire a motorului în gol; 4 — turaţia maşinii antrenate cu utilizarea cuplei cu alice.

SIMBOLURI UTILIZATE

n(rot/min)	— turaţia cuplajului în timpul funcţionării (alunecare nulă);
n_M(rot/min)	— turaţia motorului electric;
n_A(rot/min)	— turaţia maşinii antrenate;
N(kW)	— puterea transmisă de cuplaj;
N_0(kW)	— putere fictivă (transmisibilă în cazul umplerii complete a carcasei cu alice);
M(N.m)	— momentul transmis de cuplaj;
M_0(Nm)	— momentul transmis de cuplaj la alunecare 0%;
M_{100}(Nm)	— momentul transmis de cuplaj la alunecare 100%;
m_a(kg)	— masa de alice;
$L(m)$	— lăţimea interioară a carcasei cuplajului;
$R(m)$	raza interioară a carcasei cuplajului;
$R_1(m)$	— raza interioară a cilindrului format de alicele distribuite uniform pe interiorul carcasei cuplajului;
r(m)	— raza centrului de masă al barajului de alice;
F(N)	— forţa de frecare dintre barajul de alice şi suprafaţa interioară a carcasei cuplajului;
F_c(N)	— forţa centrifugă a barajului de alice;
k	— coeficient de putere;
$\mu = 0{,}25$	— coeficient de frecare echivalent al alicelor pe suprafaţa carasei;
φ	— coeficient de umplere;
$\varrho_a \cong 4200$ kg/m^3	— densitatea aparentă a alicelor;
$\omega(s^{-1})$	— viteza unghiulară a cuplajului;
c	— coeficient de corecţie, experimental.

Bibliografie

[1] Drăghici, I. ş. a. *Calculul şi construcţia cuplajelor.* Ed. Tehnică, Bucureşti, 1978.

[2] Peligrad, N. *Cuplaje hidraulice.* Ed. Tehnică, Bucureşti, 1985.

[3] Gafiţeanu, M. *Organe de maşini.* Ed. Tehnică, Bucureşti, 1983.

[4] * * * *Kupplugen mit. Füllmaterial* În: Die Maschine, nr. 8—9/1969.

[5] Schutz, A. şi Co. *Die Pulvis Kupplung.* Wien, 1974.

[6] Canciu, L., Oprişiu, N., Zamfira, C., Ploscaru, M. *Simularea pe calculator numeric a pornirii unei acţionări cu motor asincron trifazat şi cuplaj centrifugal cu alice.* În: Energetica, 33, 1985, nr. 7, p. 298—301.

(Primit la 27 iulie 1987, acceptat la 27 iulie 1989)

Aspecte actuale rezultate din construcția și exploatarea centralelor nuclearoelectrice

Ing. PAUL EMIL RAȘCU*

Descriptori : centrale nuclearoelectrice

Pe baza materialului statistic întocmit anual de AIEA, cu referire la stadiul construcției și rezultatelor de exploatare a centralelor nuclearoelectrice pe plan mondial, prezentat în anul 1989, completat cu numeroase alte date preluate din literatura de specialitate, se redă o privire de ansamblu asupra problemelor la zi în energetica nucleară.

Lucrarea conține un mare număr de diagrame și tabele rezultate pe baza datelor cuprinse în statistici prezentînd o situație grăitoare cu referire la justificarea situației actuale a acestor centrale și cu referire la îndemnul de accelerare a construcției unor astfel de centrale noi, ameliorate, în vederea alimentării cu energie a consumatorilor din deceniile următoare.

Based on annual AIEA statistics referring to erection stages and operational results with nuclear power plants worldwide, issued 1989 and supplied with data from specialized bibliography, an extensive insight on actual problems of nuclear energy is presented.

The paper contains a large number of diagrams and tables resulted from statistical data representing a vivid situation and justification of the present situation of these plants and referring to the urge to accelerate the erection of such improved factilities in order to supply energy to future consumers.

Considerații generale

Este bine cunoscut că pe baza datelor oficiale raportate de fiecare țară în parte, Agenția Internațională pentru Energia Atomică (AIEA) publică în fiecare an un buletin de informare care conține sub formă tabelară elemente sintetice caracteristice referitoare la construcția și exploatarea reactoarelor nucleare energetice din lume [1, 2].

Prezentul material își propune ca, pe baza acestor elemente cuprinse în cele mai recente astfel de materiale apărute, să sublinieze aspectele principale ce rezultă cu privire la construcția și exploatarea centralelor nuclearoelectrice, completînd, după caz, aceste date, cu scopul de a sublinia importanța lor, cu alte informații conjugate din literatura de specialitate.

1. Asigurarea cu energie a consumatorilor

Este acceptat fără nici un dubiu că necesarul de energie primară și de energie electrică constituie astăzi imperative indiscutabile pentru societatea consumatoare din țările dezvoltate industrial.

Din ce în ce devine mai evident că sursele clasice de energie utilizate pînă în prezent, lemnul, cărbunele, petrolul și gazele, sînt pe cale de epuizare într-o perioadă mai lungă sau mai scurtă, dar oricum foarte clar întrevăzută.

Sesizări din ce în ce mai curajoase și mai lucide au început să apară în special în ultimele trei decenii, producînd nu numai o îngrijorare crescîndă, dar și frămîntări economice și politice, mai ales pe piața petrolului, care au antrenat întreaga omenire, începînd cu țările cele mai industrializate pînă la țările subdezvoltate ale lumii a treia.

Au început, de asemenea, a fi corect apreciate efectele poluării ce rezultă de pe urma utilizării combustibililor clasici: degajările de CO_2, efectul de seră, consumul de oxigen și diminuarea stratului de ozon, compușii chimici rezultați din cenușile și gazele degajate prin oxidarea combustibililor clasici, ce conduc în final la ploi acide cu urmări cît se poate de negative pentru mediul înconjurător, animale, pentru vegetație și pentru oameni. Primele sesizări în acest sens au îndreptat noile cercetări către utilizarea energiilor recuperabile, care toate au la bază energia primită de la soare, dar care, deși în cantități uriașe, este foarte împrăștiată și greu de pus în valoare. Centrale

* Ing. Paul Emil Rașcu — Institutul de Studii și Proiectări Energetice, București

electrice utilizînd energia vîntului, a valurilor, a mareelor, energia geotermică și cuptoarele solare nu pot să satisfacă decît o mică parte din necesarul de energie al societății actuale și aceasta cu mari eforturi financiare.

Odată cu al doilea război mondial, omenirea a izbutit să parcurgă încă o importantă treaptă în domeniul energetic, reușind, deocamdată cu un randament scăzut, ca prin intermediul reactoarelor nucleare să treacă de la punerea în valoare a energiei chimice a materiei conținută în norul de electroni din jurul nucleului atomului, la însăși energia conținută în nucleul atomului, care este cu mult mai mare.

Cercetările din ultimii 50 de ani au permis printr-o muncă stăruitoare, prin eforturi financiare uriașe, cu și fără concurență interstatală, să se ajungă în domeniul tehnicii reactoarelor nucleare, depășind toate dificultățile și accidentele inerente survenite, să se pună la punct această nouă tehnologie ajunsă astăzi la maturitate tehnică, obținînd față de tehnologiile energetice folosite pînă în prezent, chiar calificativul de „energie curată", fază după care procesele industriale respective intră într-o perioadă de ameliorare și optimizare care să le crească continuu performanțele tehnice și să le scadă prețul de cost.

Cu privire la această tehnologie a reactoarelor nucleare energetice se vor sublinia în cele ce urmează o serie de aspecte ce rezultă în situația actuală.

Cu cunoștințele și tehnologiile de care se dispune, utilizarea centralelor nuclearoelectrice constituie speranța principală pentru alimentarea cu energie a societății cel puțin pentru sec. XXI. Ca o recunoaștere de autorizare a apariției noii surse nucleare de energie se constată, în uriașul mecanism ce determină structura surselor de energie utilizate pentru asigurarea energiilor primare necesare societății actuale, prime modificări sesizabile prin scăderea ponderii petrolului și gazelor naturale și creșterea continuă a aportului energiei produse pe cale nucleară (tabelul 1) [3].

2. Aspecte în legătură cu evoluția centralelor nuclearoelectrice

După verificările efectuate în mai toate țările puternic industrializate într-o serie de centrale nuclearoelectrice „de demonstrație", cu puteri instalate în general mai mici de 300 MWe, s-a trecut în anii '70 la o intensă campanie de construcții nucleare, cei mai favorabili din această perioadă fiind anii 1973 și 1974, cînd s-au pus în funcțiune 20 și respectiv 26 tranșe de reactoare nucleare.

După accidentul de la CNE Three Mile Island și ca urmare a unor puternice campanii antinucleare a ecologiștilor din numeroase țări, s-a instaurat o perioadă de stagnare în construcția centralelor nucleare, înregistrîndu-se în anul 1979 punerea în funcțiune a numai 9 unități. În această perioadă ritmul construcțiilor nucleare a fost încetinit și în S.U.A., în special prin măsurile restrictive în acest domeniu luate de administrația de stat, atitudine ce a avut grave urmări în energetica nucleară a acestei țări și care a condus printre altele, la un mare număr de renunțări de comenzi nucleare, la tergiversarea lucrărilor respective mărind duratele de execuție a acestor centrale la 10 — 12 ani și la imposibilitatea respectării angajamentelor luate de către mulți furnizori ca preț și durată de execuție. Ca o consecință, curînd S.U.A. a fost depășită ca putere instalată în centralele nucleare de țările Europei și pierde în același timp întîietatea cîștigată într-o serie de tehnclogii de mare importanță ca acelea legate de realizarea reactoarelor nucleare cu neutroni rapizi.

Ritmul inițial de construcție, la nivel mondial, a centralelor nucleare se restabilește abia după anul 1980, cînd atinge un maxim de 33 tranșe de reactoare realizate pe an în 1984 și în 1985, anul 1985 fiind și primul fără anulări de comenzi de reactoare (din 1975), după care acest ritm se stabilizează la circa 20 reactoare puse în funcțiune pe an.

Tabel 1

Evoluția acoperirii consumului mondial de energie pe surse (în EJ și în %)

Sursa	1985		1990		1995		2000	
	EJ	%	EJ	%	EJ	%	EJ	%
Petrol	117,0	38,27	125,4	38,18	129,6	35,90	137,9	34,38
Gaze naturale	58,5	19,43	62,7	19,23	66,9	18,37	71,1	17,98
Cărbune	92,0	30,56	100,3	30,07	121,2	33,39	137,9	34,38
Hidro	20,9	6,94	20,9	6,41	25,1	6,89	29,3	7,30
Nuclear	12,5	4,80	16,7	6,11	20,9	5,45	25,1	5,96
Total mondial	300,9	100	326,0	100	363,7	100	401,3	100

Puterea mondială instalată în centralele nucleare este în continuă creştere, iar ponderea energiei electrice produsă din surse nucleare creşte aproximativ cu 1% pe an din energia electrică mondială, ajungînd ca în 1988 să depăşească 16% şi tinzînd să ajungă la finele secolului la circa 25% (tabelul 2).

Tabelul 2

Creşterea numărului reactoarelor şi a puterilor instalate în centralele nuclearoelectrice şi ponderea energiei electrice produse din surse nucleare din total

Anul	Numărul reactoarelor existente conectate la reţea	$P_{instalată}$ în CNE (MWe)	Ponderea energiei electrice produse în CNE din total (%)
1980	253	134 897	9,4
1981	276	154 000	10,6
1982	294	173 108	11,6
1983	317	191 000	12,2
1984	345	219 718	13,1
1985	374	250 312	14,3
1986	394	270 232	15,0
1987	417	297 927	16,2
1988	429	310 812	16,6
1989*	443	323 133	17,2
1 990*	457	334 141	18
2 000*	545	400÷600 000	25

NOTĂ : * valori preliminate

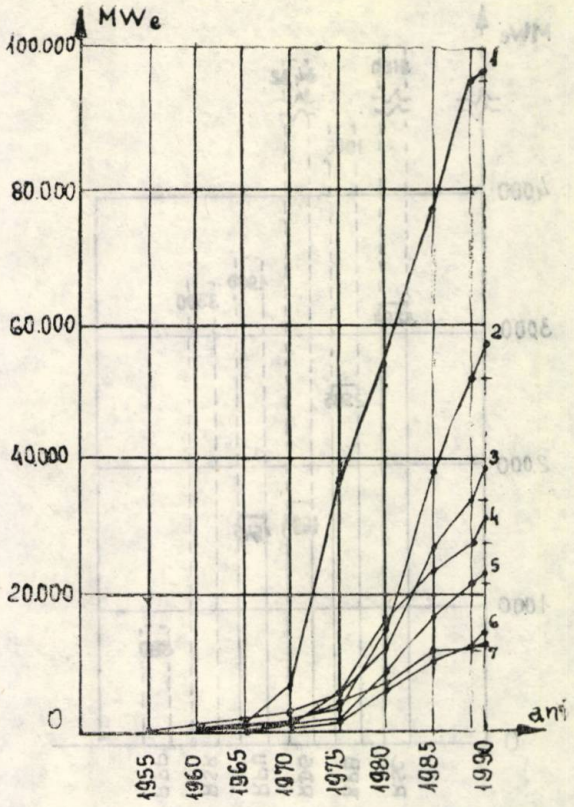


Fig. 1. Evoluţia puterii instalate în CNE în cîteva ţări puternic industrializate : 1—S.U.A. ; 2—Franţa ; 3—U.R.S.S. ; 4—Japonia ; 5—R.F.G. ; 6—Canada ; 7—Anglia.

Ritmul de instalare a tranşelor nucleare diferă de la ţară la ţară (fig. 1). El accentuează însă contrastul dintre ţările puternic industrializate şi ţările lumii a 3-a care nu dispun nici parţial de tehnologii proprii de execuţie, care nu pot face faţă cheltuielilor de investiţii cerute de aceste obiective şi care se limitează cel mult la a construi astfel de centrale cu puteri unitare mici care însă funcţionează cu randamente scăzute, neeconomice.

O imagine mai detaliată a programelor nucleare actuale şi în perspectivă, pentru ţările socialiste din Europa se redă în figura 2, din care rezultă atitudinea clară şi hotărîtă în abordarea acestui nou domeniu energetic, cunoscînd că în acest scop o serie dintre aceste ţări au şi obţinut licenţe pentru executarea cu forţe proprii a centralelor nucleare în filierele adoptate.

O altă problemă deosebit de importantă o constituie opţiunea fiecărei ţări asupra filierei de construcţie a reactoarelor. În figura 3 se reprezintă ponderea filierelor principale din totalul puterii instalate în centralele nucleare la finele anului 1988. Se remarcă fără dificultate că liderul mondial îl constituie reactoarele în filiera PWR (62,2%), urmată de filiera BWR (21,8%) şi de filiera PHWR (4,65%), considerînd a avea o valabilitate temporară filiera LWGR, respectiv RBMK (5,90 %) adoptată numai în U.R.S.S., care după accidentul de la CNE Cernobîl pare decisă de a nu mai pune în construcţie astfel de reactoare, mărginindu-se doar să le termine pe acelea aflate în prezent într-un stadiu avansat de execuţie (5 tranşe).

Este dificil a face consideraţii ferme asupra adoptării filierii naţionale, care în cazul unor ţări cu programe nucleare energetice mai dezvoltate sînt reprezentate în figura 4. Se constată că exceptînd S.U.A., Japonia şi R.F.G., care au adoptat ca bază două filiere de reactoare, în toate celelalte ţări s-a adoptat, desigur din motive de eficienţă economică, doar o singură filieră de bază, eventual şi o altă filieră de reactoare cu dezvoltare mai redusă, cu scop de experimentare.

O atenţie deosebită merită acele ţări care au adoptat într-un anumit stadiu de dezvoltare filiera reactoarelor PHWR cu uraniu natural şi apă grea. Din figura 5 se observă că, fără a lua în consideraţie unele mici abateri, România este a patra ţară din lume care a adoptat această filieră şi alături de Argentina, Canada şi India îşi menţine cu fermitate această opţiune. În dorinţa de independenţă economică urmărită cu perseverenţă de ţara noastră, între a opta pentru filiera cu uraniu îmbogăţit, cunoscînd dificultăţile tehnice ale acestei tehnologii, cos-

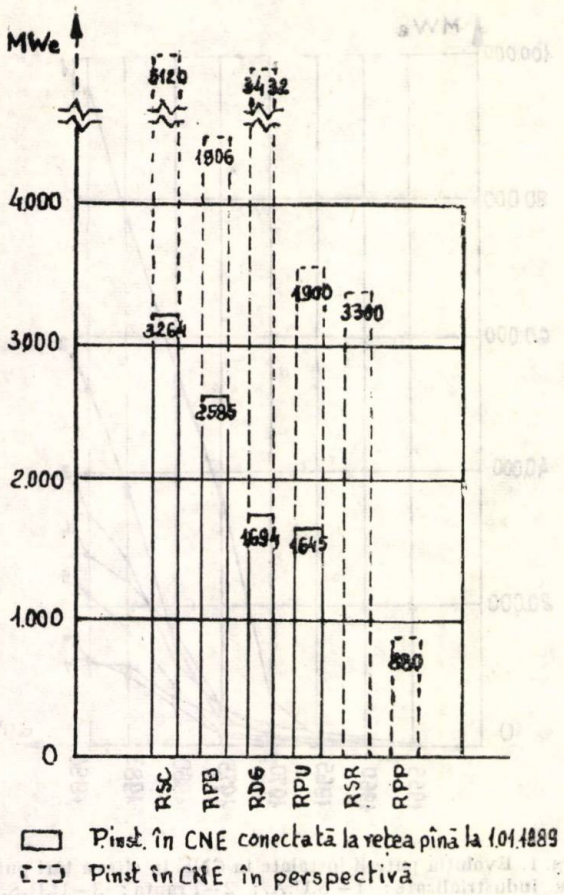


Fig. 2. Dezvoltarea CNE în țările socialiste europene.

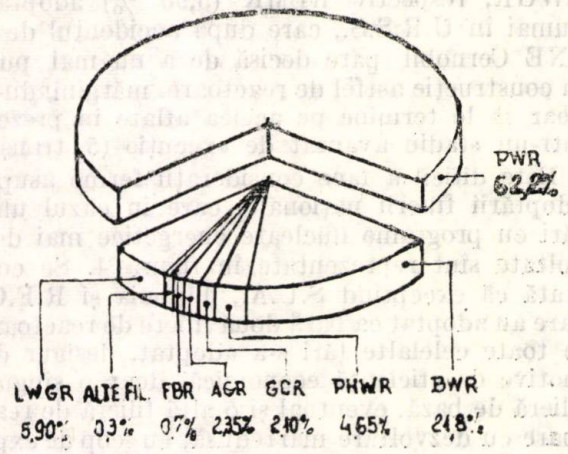


Fig. 3. Puterea mondială instalată în centrale nucleoelectrice pe filiere la 1.01.1989.

turile și mărimea ei pentru a deveni rentabilă și a adopta filiera cu uraniu natural, care necesită tehnologia de fabricație a apei grele, care deși nu este nici ușoară, nici puțin costisitoare, este totuși accesibilă țării prin dimensionarea ei la necesitățile reactoarelor proprii, s-a dat preferință ultimei alternative [4].

În sfîrșit o altă problemă importantă o constituie mărimea unitară a tranșei nucleare, dovedindu-se, prin studii detaliate efectuate

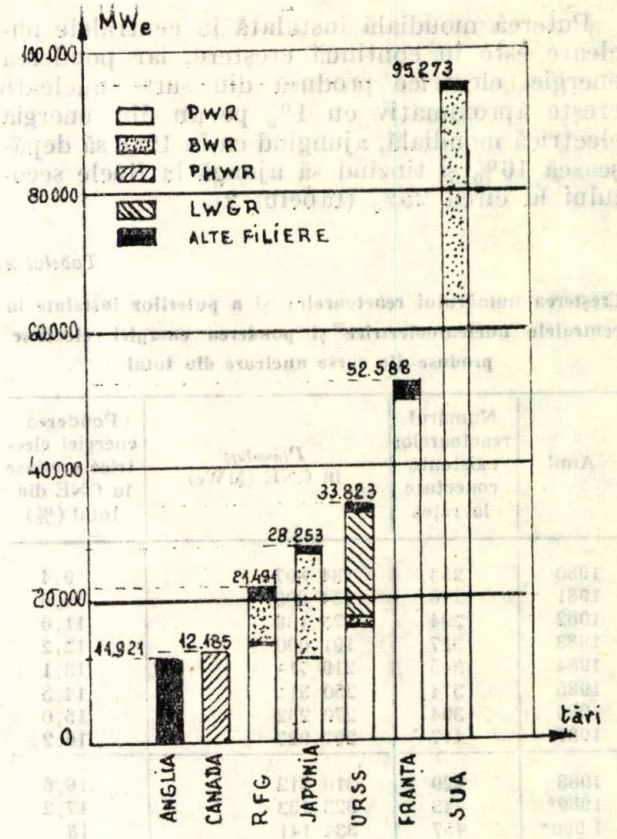


Fig. 4. Structura pe filiere a puterii instalate în CNE în cîteva țări (anul 1988).

în numeroase țări, că energia electrică produsă din surse nucleare este mai economică în cazul creșterii puterii unitare a centralei și că pentru un același amplasament este posibilă întotdeauna la o putere convenabilă, construcția unei centrale nucleare mai rentabile decît a unei CTE echivalente pe cărbune [5].

În tabelul 3 se prezintă, pentru perioada din ultimii 15 ani, o clasificare a ponderii în totalul mondial, a reactoarelor nucleare cu puteri unitare mai mici și mai mari de 900 MWe, pe filiere. Se constată o pondere din ce în ce mai accentuată pentru tranșele de reactoare de mare putere, valoarea unitară de 900 MWe fiind adoptată fără rezerve, ca pragul de ecoromicitate sigură, deși unii beneficiari coboară această limită pînă la valoarea de 700 MWe. Din tabelul menționat rezultă că niciodată nu s-au realizat puteri unitare mai mari de 900 MWe în oricare din filierele GCR, AGR, SGHWR și HTGR și că perioada în care economicitatea grupurilor cu o putere mai mare de 900 MWe a fost confirmată în practică, se situează în jurul anului 1984.

Din nou trebuie subliniată aici situația dezavantajată a țărilor lumii a treia, întrucît utilizarea unor reactoare rentabile cu putere unitară egală sau mai mare de 900 MWe nu poate fi admisă în sistemele electroenergetice

cu putere instalată insuficientă deoarece ieşirea intempestivă din funcţionare a acestora ar putea produce perturbatii majore şi compromiterea stabilităţii de funcţionare a întregii reţele electrice [6].

pentru cîteva ţări puternic industrializate şi pentru ţările socialiste europene, constatîndu-se, fără a constitui o surpriză, că în special pentru ţările mici procentul de energie electrică produs pe cale nucleară este de regulă mare

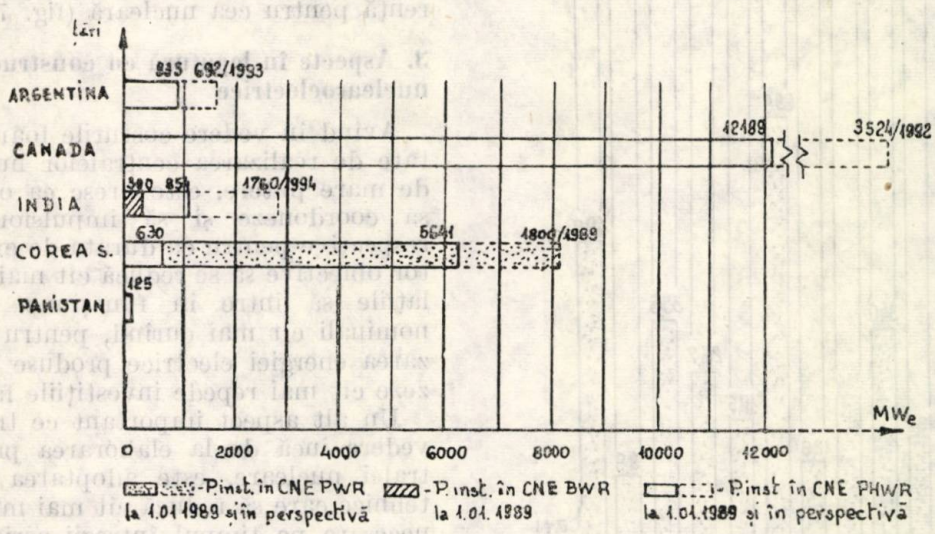


Fig. 5. Puterea instalată în CNE în funcţiune la 1.01. 1989 şi în perspectivă în ţările care au adoptat şi reactoare în filiera PHWR.

Tabelul 3

Evoluţia puterii reactoarelor nucleare în funcţie de puterea unitară a acestora

Puterea unitară a reactorului (MWe)	Filiera reactoarelor	Ponderea puterii reactoarelor pe filiere şi ani din puterea instalată mondială în CNE (%)				
		1975	1980	1985	1988	1990
$P \geq 900$	PHWR	0	2,57	2,00	2,20	3,00
	GCR + AGR	0	0	0	0	0
	LWGR(RBMK)	2,40	5,00	5,80	4,65	4,65
	BWR	24,22	42,83	62,00	67,77	68,00
	PWR	5,27	7,46	13,40	12,92	13,50
	SGHWR + HTGR +	16,55	27,80	40,80	47,50	46,10
	FBR	0	0	0	0,50	0,75
$P < 900$	PHWR	3,45	2,20	1,90	2,60	2,65
	GCR + AGR	8,65	6,88	5,60	4,65	4,65
	LWGR(RBMK)	1,00	0,60	0,40	0,25	0,30
	BWR	24,95	16,69	11,10	8,75	8,70
	PWR	37,30	26,60	18,00	15,30	15,00
	SGHWR+HTGR +	0,43	1,20	1,00	0,68	0,70
	FBR					
	Total mondial	100	100	100	100	100

Desigur efortul de realizare a programelor nucleare naţionale are drept consecinţă obţinerea unei cote din ce în ce mai mari din energia electrică total produsă, ceea ce reprezintă în fapt un grad sporit de asigurare faţă de fluctuaţiile costurilor combustibililor clasici pe piaţa internaţională.

În figura 6 se redă, pentru anul 1988, ponderea energiei electrice produse din surse nucleare din totalul producţiei de energie electrică, (ex. Belgia, R.P.B., R.P.U. etc.). De apreciat sînt însă ţările cu o producţie relativ mare de energie electrică, dar în care intervenţia sursei nucleare devine importantă (ex. Franţa, R.F.G., Japonia etc.).

Cazul Franţei merită o subliniere aparte, ţinînd seama de uriaşul efort de a construi centrale nuclearoelectrice, echipate în ultimul timp cu tranşe cu puteri unitare de 1300 — — 1400 MWe, program pornit iniţial cu ambi-

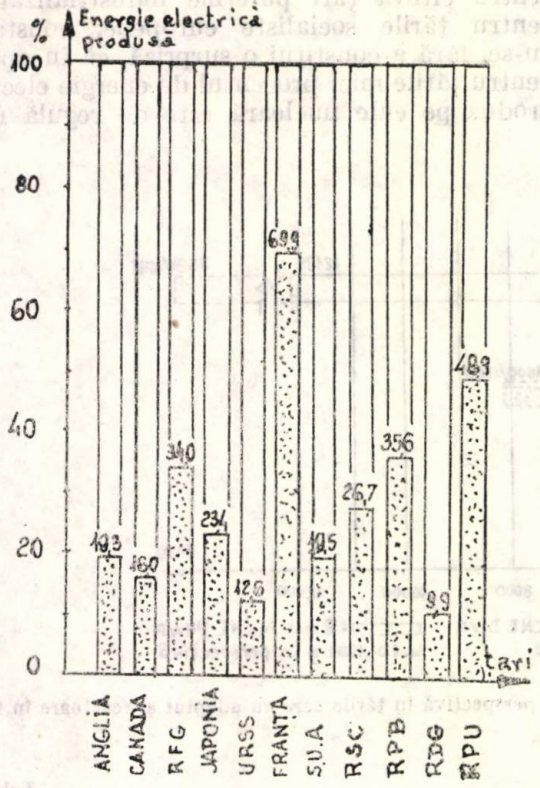


Fig. 6. Ponderea energiei electrice produse în CNE în cîteva țări față de totalul energiei electrice produse în anul 1988.

ția de a pune în funcțiune, pînă în anul 2000, un total de 200 de tranșe, realizînd cîte 5 — 6

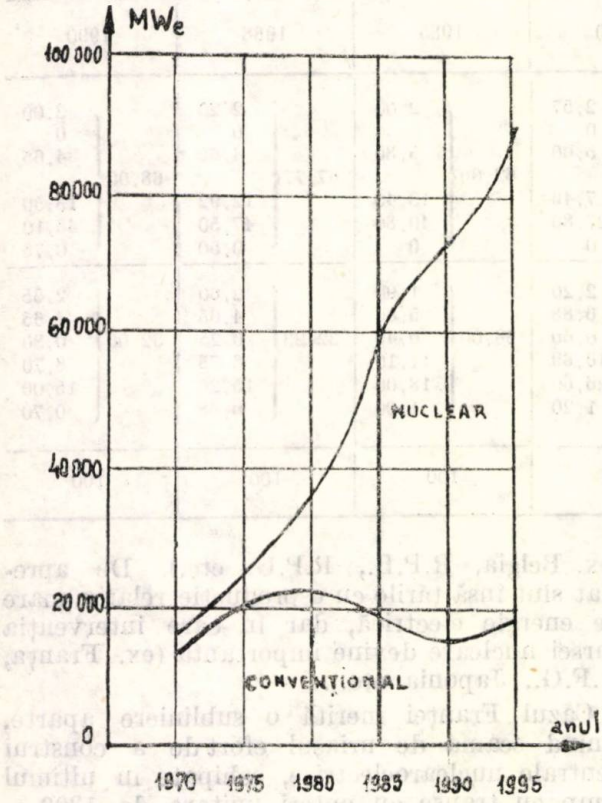


Fig. 6. Prevederile EdF (Franța) privind contribuția surselor la acoperirea cererii de putere electrică.

tranșe pe an, ritm care s-a dovedit greu de susținut și care ulterior s-a stabilizat la 1 — 2 tranșe pe an. Acest program nuclear, unic în felul său, are drept urmare spre sfîrșitul secolului, o structură de surse cu o mare preponderență pentru cea nucleară (fig. 7).

3. Aspecte în legătură cu construcția centralelor nuclearoelectrice

Avînd în vedere costurile foarte mari solicitate de realizarea centralelor nuclearoelectrice de mare putere, este firesc ca orice beneficiar să coordoneze și să impulsioneze lucrările respective pentru ca durata de execuție a acestor obiective să se reducă cît mai mult și instalațiile să intre în funcțiune la parametrii nominali cît mai curînd, pentru ca, prin vînzarea energiei electrice produse să se amortizeze cît mai repede investițiile făcute.

Un alt aspect important ce trebuie avut în vedere încă de la elaborarea proiectelor centralei nucleare, este adoptarea acelor soluții tehnice care să reducă cît mai mult cheltuielile necesare pe timpul întregii perioade de funcționare a centralei față de cheltuielile din etapa de amenajare a terenului centralei, care, deși pot fi apreciabile, nu se fac decît o singură dată. Astfel, la amplasamentele centralelor nucleare situate pe malul unor cursuri de apă, lacuri sau mări, se urmărește coborîrea cît mai mult a platformei centralei prin executarea de excavații pentru a reduce în acest fel energia necesară pompării apei de răcire pentru centrală pe toată durata de viață a acesteia. Situații de acest gen prezintă foarte multe din centralele nucleare din Franța, Anglia și Japonia, riverane sau amplasate pe litoralul mărilor. Astfel, în cazul CNE Paluel (4 × 1300 MWe) din Franța situată pe malul Mării Nordului s-a realizat un indice de 630 000 m³ terasamente pentru fiecare 1 ha de platformă amenajată. Pentru a realiza acest deziderat și a reduce în același timp cheltuielile necesare, volumele de pămînt excavat în cazul CNE Flamaville și CNE Penly, situate tot pe litoralul Mării Nordului în Franța, au fost depozitate în mare, extinzînd, în acest fel, la valorile necesare aria platformelor centralelor respective cu circa 58 ha și respectiv cu circa 70 ha [7].

În sfîrșit, o altă direcție de urmărit în reducerea duratei șantierului centralelor nuclearoelectrice constă într-o bună coordonare a livrărilor de materiale și echipamente necesare de la diverși furnizori în așa fel încît să nu se producă stocaje de lungă durată pe amplasamentul centralelor (ceea ce de regulă necesită mult loc și condiții costisitoare de conservare în timp). În acest sens este remarcabilă performanța realizată la construcția CNE Zorita din Spania, cînd în portul de descărcare Cartagina s-a coordonat la zi aducerea de peste ocean, din S.U.A., a schimbătorului de căldură pe un

traseu de peste 5000 mile lungime și a unei macarale plutitoare cu sarcina de ridicare de 350 t din Olanda [8].

Tot în cadrul unor astfel de preocupări experiența și temeritatea executanților pot determina mari economii de timp și investiții și la realizarea lucrărilor de organizare de șantier. Astfel, pentru descărcarea la Haddam Neck în S.U.A. a vasului de presiune al CNE Connecticut Yankee, avînd greutatea de 416 t, și pentru a evita execuția unui chei special de descărcare, întregul vas de transport a fost scufundat pe fundul fluviului, după care vasul de presiune, montat pe o sanie, a fost tras pe mal pe un plan înclinat corespunzător gresat. Astfel de lucrări cu caracter excepțional pot fi menționate în multe cazuri, toate avînd la bază ingeniozitatea tehnicienilor respectivi și ca rezultat final, importante economii de investiții și durate mai scurte de execuție a lucrărilor.

Rezultate apreciabile se pot obține și printr-un mare grad de standardizare a componentelor principale din centralele nucleare, fapt aplicat cu deosebită eficacitate în Franța și în U.R.S.S., unde s-a urmărit și o anumită specializare a întreprinderilor pe anumite tipuri de echipamente. Această specializare are ca rezultat, pe lîngă avantajele menționate, și obținerea unei calități sporite a echipamentelor executate, lucru ce nu a putut fi realizat în S.U.A., unde diversele companii furnizoare lucrează adesea după standarde și patente diferite.

Ținînd seama de cele menționate, în figura 8 s-au redat comparativ duratele medii de realizare a centralelor nuclearoelectrice în diverse țări echipate cu reactoare nucleare exe-

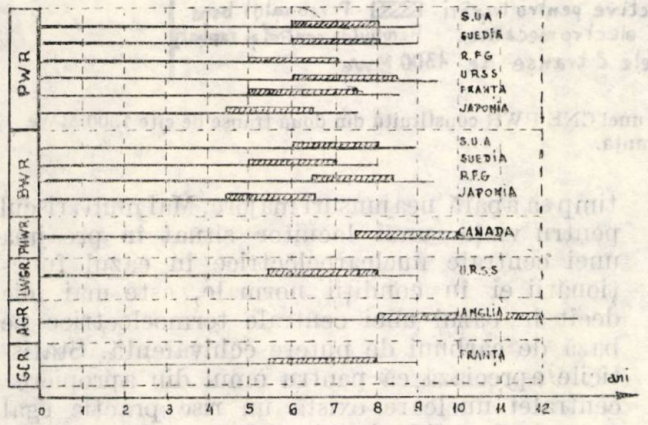


Fig. 8. Durate medii (exclusiv situațiile de conjunctură) de execuție a CNE pe țări și filiere de reactoare cu $P \geq 500$ MWe. Notă. Durata de execuție este considerată între turnarea primelor betoane și racordarea la rețea a CNE.

cutate în diferite filiere, evitîndu-se situațiile de conjunctură defavorabilă, ca aceea existentă între anii 1979—1983 în S.U.A.

Se constată că termenele de punere în funcțiune a centralelor nucleare variază de cele mai multe ori într-un interval de circa 2 ani între anul al 5-lea și al 8-lea de la începerea lucrărilor pe amplasament. Nu se poate semnala o reducere sensibilă a duratei de execuție la centralele nucleare în filiera BWR față de cele în filiera PWR, deși la primele complexitatea instalațiilor este mai mică datorită lipsei circuitului secundar de răcire, a generatoarelor de abur, a pompelor respective, a presurizorului etc.

Se poate însă menționa o durată minimă de 50 de luni la realizarea în Japonia a centralelor nucleare, atît în filiera PWR, cît și în filiera BWR, spre deosebire de centralele în filiera PHWR din alte țări la care datorită caracteristicilor tehnologice și constructive, sînt necesare lucrări mai ample, extinzînd durata lor de execuție în jur de 120 luni pe tranșă. Tot astfel este de remarcat execuția tranșelor din centralele nucleare din Anglia în filiera AGR

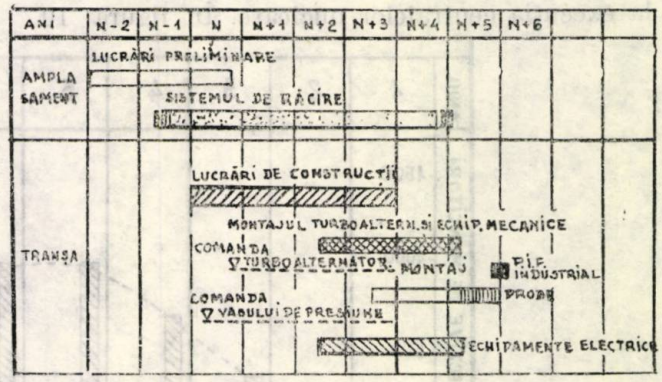


Fig. 9. Graficul simplificat de realizare a unei tranșe de reactor cu puterea de 1300 MWe în filiera PWR a programului francez. Notă. Procedurile administrative (18 la 24 luni) sînt asigurate înainte de deschiderea șantierului.

a căror durată de execuție s-a extins pînă la 190 de luni.

În figura 9 se detaliază pe ani graficul de execuție a unei centrale nucleare în filiera PWR cu putere de 1300 MWe din Franța, din care rezultă că lucrările preliminare de fundamentare a investiției unei centrale nucleare încep cu minimum doi ani înainte de deschiderea șantierului și cuprind elaborarea proiectelor de execuție, obținerea avizelor definitive de amplasare, întocmirea și aprobarea caietelor de sarcini a utilajelor etc. Fazele de proiectare inițiale ale lucrării, stabilirea caracteristicilor de bază ale investiției ca și avizele principale de amplasare se consideră obținute cu și mai mare anticipație.

Se mai constată, așa cum era și de așteptat, că durata cea mai mare de execuție întinzîndu-se pe aproape 6 ani este cerută de lucrările sistemului de răcire al centralei și în special de turnurile de răcire (cunoscînd că în centralele nucleare debitele de apă de răcire sînt cu circa 70 — 80% mai mari decît acelea din cen-

tralele clasice de putere echivalentă), în timp ce celelalte lucrări de construcţii durează circa 4 ani. Montarea componentelor centralei durează circa 3 ani, comandarea lor în uzine trebuind să fie făcută cu 2 — 3 ani mai înainte (vasul de presiune, generatoarele de abur, turboagregatul, condensatorul etc.).

De asemenea, efectuarea probelor, la început parţiale, iar mai apoi pe subansambluri şi instalaţii întregi, se extind pe un interval de circa 2,5 ani, din care un an după terminarea practic completă a lucrărilor de montaj [9].

Graficul de realizare pentru o singură tranşă de reactor cuprinde circa 5 000 de operaţii de urmărit şi supravegheat şi necesită contracte cu 500 de furnizori. Pentru realizarea unei singure tranşe de 1300 MWe se efectuează circa 10 milioane ore om pe şantier, durata şantierului fiind în medie de 70 — 80 luni.

O ultimă problemă care merită a fi evidenţiată este aceea a personalului calificat, utilizat la execuţia centralelor nucleare. În figura 10 se redă variaţia efectivelor de personal pe principalele specialităţi pentru o centrală nucleară în filiera PWR echipată cu două tranşe de 1300 MWe în Franţa. Din grafic rezultă un flux armonios al diverselor specialităţi pe şantier, înregistrîndu-se un număr nu cu mult mai mare de 1100 muncitori din fiecare specialitate prezenţi simultan pe şantier, maximumul numărului de muncitori din construcţii şi din montaj fiind decalat cu circa 3 ani, ţinînd seama de decalajul iniţial adoptat de 24 de luni dintre punerile în funcţiune ale celor două tranşe de 1300 MWe. Anii cu cea mai intensă activitate pe şantier par a fi anii 6, 7 şi 8 ai execuţiei lucrărilor, cînd efectivul maxim de muncitori pe şantier este în jur de 2100.

Este necesar efort şi ingeniozitate din partea beneficiarului şi executantului în dozarea şi organizarea forţei de muncă pe şantier în aşa fel încît muncitorii de diferite specialităţi să nu se stînjenească unii pe alţii.

Beneficiarul trebuie să fie conştient că nu prin creşterea în cît mai mare măsură a numărului de muncitori pe şantier, ci numai printr-o bună organizare şi un control zilnic al îndeplinirii etapelor de lucru, se poate obţine un cost minim şi o durată cît mai redusă a execuţiei lucrărilor.

4. Aspecte în legătură cu exploatarea centralelor nucleroelectrice

Cea mai concretă confirmare a avantajelor centralelor nuclearoelectrice este durata din ce în ce mai mare a funcţionării lor în condiţii satisfăcătoare de siguranţă şi rentabilitate. Exprimînd în ani de exploatare cumulată această experienţă cîştigată ea reprezenta la nivel mondial circa 3500 ani în 1984, 3800 ani în 1985 şi depăşea 5000 de ani în 1988, fără ca în acest

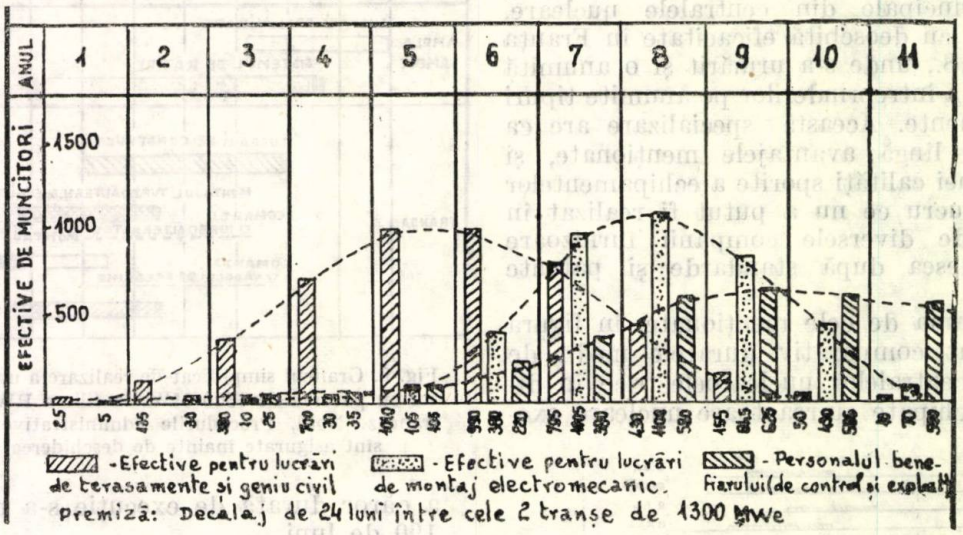


Fig. 10. Evoluţia numărului de personal tehnic pe şantierul unei CNE PWR constituită din două tranşe de cîte 1300 MWe în Franţa.

timp să apară neajunsuri majore. Mai mult, riscul pentru viaţa unui locuitor situat în preajma unei centrale nuclearoelectrice în cazul funcţionării ei în condiţii normale, este mai mic decît în cazul unei centrale termoelectrice pe bază de cărbuni de putere echivalentă. Statisticile apreciază că pentru omul din apropierea centralei nucleare există un risc practic egal cu acela de a fi lovit prin căderea unui meteorit. Riscurile nu sînt cu mult mai mari nici în cazul avariilor din centralele nucleare, dacă toate măsurile de limitare a consecinţelor acestora au fost luate în mod corespunzător (executarea barierelor împotriva diseminării produselor radioactive în mediul înconjurător, controlarea tecilor elementelor de combustibil, integritatea izolării circuitului primar de răcire, execuţia etanşă a clădirii reactorului etc.).

În figura 11 se redă numărul de ani de exploatare cumulați în centralele nuclearoelectrice din diverse țări, din care rezultă că s-a obținut o bogată experiență în acest domeniu. Analizînd unele aspecte în legătură cu această problemă,

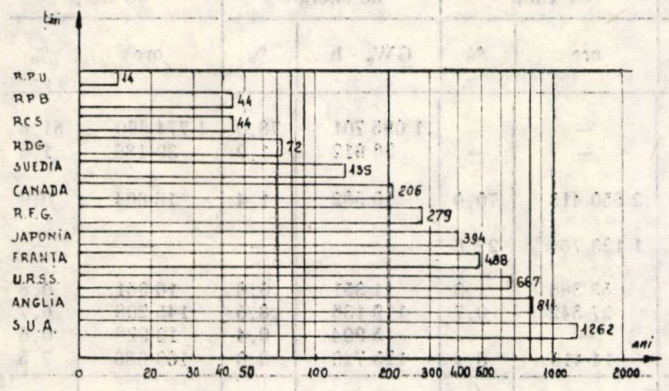


Fig. 11. Experiența cumulată de exploatarea CNE în diverse țări. Notă. Ultimul an de exploatare se încheie la 31.12.1989. Numărul lunilor de exploatare s-a rotunjit la valoarea în ani, neglijînd mai puțin de 6 luni sau adăugînd un an la peste 6 luni.

se pot desprinde date interesante cu privire la factorul de disponibilitate a reactoarelor nucleare, valorile acestui factor fiind redate în tabelul 4 pe filiere și pe puteri unitare.

Tabelul 4

Factorul de disponibilitate cumulată (%) a reactoarelor nucleare funcție de mărimea unitară și filiera acestora

Puterea unitară a reactorului (MWe) / Filiera reactoarelor	100—599	> 600
PHWR	68	83,2
PWR	75,3	67,8
BWR	65,8	63,3
AGR	—	61,5
GCR	67,9	—
LWGR (RBMK)	—	73,1

Se constată că valoarea minimă a factorului de disponibilitate îl au reactoarele în filiera AGR, iar valoarea cea mai mare o au reactoarele în filiera PHWR, în special pentru puteri unitare mai mari de 600 MWe. Acest fapt este explicabil cunoscînd că reactoarele în filiera PHWR se încarcă cu combustibil fără întreruperea funcționării lor, spre deosebire de reactoarele cu răcire cu apă obișnuită unde încărcarea cu combustibil se face cu oprirea reactorului pe timp de cel puțin o lună. Această valoare mare a factorului de disponibilitate al reactoarelor PHWR poate fi obținută numai printr-o exploatare în condiții de mare rigurozitate și ea este atinsă în prezent numai de unitățile nucleare din Canada. Subliniem că și alte tipuri de reactoare se pot încărca cu combustibil fără oprirea funcționării lor, și anume reactoarele în filiera LWGR (RBMK-sovietice), realizate tot cu tuburi de presiune, și reactoarele în filiera HTGR cu combustibilul nuclear sub formă de bile.

Din tabelul 4 se mai poate constata că disponibilitățile reactoarelor în filierele BWR și PWR sînt practic egale și ele ating valori din ce în ce mai mari la unitățile puse recent în funcțiune.

Efectuînd o clasificare a cauzelor indisponibilităților centralelor nuclearoelectrice (tabelul 5) se pot face următoarele mențiuni:

— pierderile neplanificate de energie și de timp sînt aproape de două ori mai mici decît cele planificate, ceea ce indică o exploatare bine pusă la punct și cu puține evenimente neprevăzute;

— între pierderile planificate, poderea cea mai mare o dețin întreruperile efectuate pentru reîncărcarea cu combustibil a reactorului;

— o pondere importantă în pierderile planificate o au și operațiunile de control, întreținere și mici reparații prin care se asigură eliminarea unor defecțiuni de mai mari proporții;

— în pierderile neplanificate, defecțiunile de echipamente reprezintă ponderea cea mai mare, fiind de circa 40 ori mai mari decît pierderile provocate de factorul uman;

— pierderile neplanificate la încărcarea cu combustibil a reactoarelor sînt relativ reduse, ceea ce înseamnă că procesul respectiv este bine pus la punct;

— o pondere care nu poate fi neglijată, circa 8% din totalul pierderilor de energie neplanificate, o reprezintă opririle necesare pentru reglarea sistemelor de protecții și automatizare, ceea ce indică o dereglare relativ frecventă a lor în timpul funcționării.

Dintre cauzele indisponibilităților reactoarelor nucleare o deosebită atenție trebuie acordată factorului uman, care s-a dovedit a putea avea în anumite condiții urmări grave. Omul căruia i se încredințează o instalație prin care guvernează o putere uriașă, rămîne oricum un ansamblu complex, care poate fi afectat de numeroase incertitudini imprevizibile. Relația om-mașină a evoluat mult. Ea a trecut de la unealta simplă de făcut și de utilizat la automatizări și telecomenzi complexe. Contactul dintre om și mașină a dispărut, apărînd necesitatea unui intermediar între acestea și aceasta este informația, prin elementul său de bază releul. Omul continuă însă să își păstreze valoarea maximă în relația om — releu — mașină, căci el trebuie să asigure calitatea procesului propriu-zis și să verifice și fiabilitatea sistemului de informație intercalat între el și mașină. Relația dintre un om—o mașină este substituită în prezent de sisteme om—mașină, întrucît procesul tehnic nu mai poate fi stăpînit de un

Tabelul 5

Cauzele indisponibilității reactoarelor nucleare neprototip în intervalul 1971–1987

Cauzele indisponibilității	Pierderi planificate				Pierderi neplanificate			
	Pierderi de energie		Pierderi de timp		Pierderi de energie		Pierderi de timp	
	$GW_e \cdot h$	%	ore	%	$GW_e \cdot h$	%	ore	%
Datorită echipamentelor	—	—	—	—	1 095 701	78,0	1 774 660	81,8
Datorită factorului uman	—	—	—	—	26 912	1,9	39 186	1,8
Reîncărcare (combinată cu întreţineri planificate)	2 022 626	78,0	2 850 413	70,0	19 582	1,4	18 604	0,9
Control planificat, întreţinere şi reparaţii	501 156	19,3	1 123 784	27,6	—	—	—	—
Încercări ale componentelor şi sistemelor de putere	43 029	1,7	53 366	1,3	11 351	0,8	16 961	0,8
Necesităţi de reglare	15 847	0,6	27 342	0,7	119 136	8,5	145 208	6,7
Reţea indisponibilă	—	—	—	—	5 904	0,4	12 928	0,6
Cauze diverse	10 850	0,4	14 419	0,4	125 723	9,0	163 086	7,5
Total	2 593 508	100	4 069 324	100	1 404 309	100	2 170 633	100

NOTĂ. Au fost considerate numai reactoarele funcţionînd la plină putere nominală.

ingur om şi ca urmare apare necesitatea unor echipe în ture. Se dezvoltă specializarea şi se multiplică funcţiunile, iar munca se socializează [10].

În noile condiţii, însă, chiar şi un tehnician excepţional de bine pregătit poate fi într-o bună zi, datorită unei indispoziţii organice, primirii unei veşti rele în familie sau numai datorită unei oboseli accidentale, mult sub capacităţile lui obişnuite, fără ca acest lucru să fie uşor sesizabil, situaţii cînd este susceptibil de a comite erori importante.

În literatura actuală de specialitate s-a introdus pe lîngă noţiunea de fiabilitatea mecanismelor calculată pe baza unor factori statistici în baza cărora ştim la ce ne putem aştepta şi *fiabilitatea umană*, care depinde de numeroşi factori organici şi psihologici, dar care poate varia substanţial de la o zi la alta, fără a se putea depista din timp. În această situaţie s-a considerat că antrenamentul personalului de exploatare al centralelor nuclearoelectrice trebuie să se facă în permanenţă pe simulatoare, iar în Franţa s-a luat hotărîrea ca fiecare centrală nucleară să dispună de propriul ei simulator pe care să fie reciclat periodic personalul tehnic, chiar şi după fiecare perioadă de concediu.

Pentru a evita, pe cît posibil, erorile umane datorită confuziilor, o altă sursă importantă de avarii, s-a renunţat de a se grupa pe acelaşi tablou chei şi butoane cu funcţiuni similare pentru grupuri deosebite, chiar dacă ele sînt marcate vizibil şi colorate diferit, ajungîndu-se pînă la a se renunţa la o cameră de comandă unică pentru mai multe grupuri, preferîndu-se a se executa pentru fiecare grup cîte o cameră de comandă dotată cu manevre operative şi o supracameră de comandă pe întreaga centrală, de regulă fără comenzi operative, asigurînd legătura dintre camerele de comandă ale grupurilor cu dispecerul sistemului energetic respectiv. Un mare număr din aceste prevederi au fost adoptate şi în cadrul CNE Cernavodă [11].

Pentru a da un ajutor operativ în cazurile de importanţă majoră, ţinînd seama de experienţa acumulată ca urmare a diferitelor accidente nucleare, s-au instituit multe organizaţii naţionale pentru consultare şi intervenţie în cazurile de mare dificultate. Astfel, în Suedia există o organizaţie cu responsabilităţi legate de transportul pe căile de circulaţie publică a materialelor nucleare, care este dotată cu aparatură şi personal calificat, avînd dreptul prevăzut prin lege de a interveni în caz de necesitate, de a comanda autorităţilor civile şi de a face uz la nevoie şi de armată. Similar, în S.U.A., în statul Maryland, a fost creat un centru de consultaţie nucleară dotat cu aparatură complexă şi cu mijloace de comunicare sigure, cu funcţionare „non stop", care la solicitarea oricărei centrale nuclearoelectrice din ţară aflată în dificultate poate oferi consultaţii rapide şi competente. Tot astfel, în mai toate ţările cu programe nucleare aprobate există cel puţin schiţat un scenariu de intervenţie imediată în cazul unor situaţii de pericol nuclear pentru mediul înconjurător.

Consideraţii finale

Societatea umană a trecut în decursul timpului de la înlocuirea utilajelor bazate pe folosirea mîinii de lucru, în prezent prea scumpă, la utilaje bazate pe folosirea energiei, care multă vreme a fost derizoriu de ieftină. În

ultimele decenii prețul energiei se apropie însă de valoarea sa reală și tinde chiar să mai crească, încît omenirea este pusă astăzi într-o dilemă deosebit de dificilă, de a micșora consumul de energie, ceea ce ar echivala cu scăderea generală a nivelului de trai, sau de a modifica substanțial tehnologiile actuale pentru alți agenți energetici. Ultima alternativă necesită însă investiții de capital atît de mari și o durată de transformare atît de îndelungată, încît ele nu își găsesc în prezent răgazul necesar sub presiunea epuizării combustibililor clasici [12].

La aceste îngrijorări s-au mai adăugat recent și deteriorarea situației mediului înconjurător, în bună parte prin utilizarea combustibililor clasici, și dificultățile deosebit de mari și rezultatele deosebit de modeste obținute în folosirea energiilor recuperabile.

În situația menționată omenirea își pune speranța și își concentrează eforturile în domeniul singurei surse de energie pusă în valoare în secolul nostru, energia nucleară, prin noile instalații create cu tehnologiile actuale, reactoarele nucleare.

Ca urmare, cu toate îndoielile unor țări, omenirea este obligată să-și canalizeze toate puterile creatoare în această direcție pentru a realiza :

— ameliorarea continuă a randamentelor instalațiilor și creșterea siguranței în funcționare;

— utilizarea în mod cît mai constructiv, în instalațiile viitoare, a experienței de exploatare a centralelor nucleare ;

— punerea la punct a noi tipuri de reactoare nucleare multifuncționale și mai avantajoase în filierele HTGR și FBR, cu posibilități de producere de mari cantități de căldură la temperaturi ridicate, pentru gazeificarea cărbunilor în zăcămînt, pentru reducerea minereului de fier fără a utiliza cocsul metalurgic deficitar și pentru a obține combustibilul nuclear în cantități mai mari decît cele folosite inițial;

— utilizarea unui nou agent energetic în locul electricității, respectiv a hidrogenului, cu mult mai eficient, mai economic, mai ușor de transportat și mai ales de depozitat, complet nepoluant și pretutindeni identificabil în apa oceanelor și în aerul atmosferic, curmînd astfel problema repartiției neuniforme a surselor de energie pe glob.

Omenirea se află într-o mare dificultate în problema alimentării cu energie, de care depinde în totalitate societatea secolului XXI, și în prezent ea nu dispune de alternative.

Amintind de expresia plină de conținut exprimată în anul 1955 atît de clar de savantul indian prof. Homi V. Bhabha că „nici o energie nu e mai scumpă decît lipsa de energie", cu învățămintele desprinse din frămîntările recente de pe piața petrolului, putem parafraza „nici o situație nu poate fi atît de periculoasă decît aceea în care se manifestă lipsa de energie".

Sub impulsul acestor imperative, avem toate motivele să considerăm că în construcția centralelor nuclearoelectrice nu mai este timp decît pentru perfecționare.

Bibliografie

[1] * * * AIEA *Nuclear Power Reactors in the World*, Viena, 1988.

[2] * * * AIEA *Nuclear Power Reactors in the World*, Viena, 1989.

[3] Manolescu, G., Nistor, M. *Cooperare internațională, tehnică și economică.* În : ENERG, nr. 6, 1988, p. 9—44.

[4] Rusu, A., Rusu, A. *Prezentare generală a unei CNE de tip PHWR CANDU cu referiri speciale la CANDU-700 CNE Cernavodă.* În : Energetica, nr. 8, 1988, p. 361—369.

[5] Baumer, J., Bendell, Fr. *Notes d'information à CEA.* În : Revue Générale Nucléaire, nr. 2, 1985, p. 163.

[6] Rașcu, P. *Unele probleme energetice principale ale construcției centralelor nuclearoelectrice. Schemele electrice de înaltă tensiune utilizate. Situația pe plan mondial* În : Energetica, 36, nr. 1, 1988, p. 22—32.

[7] Leclerq, J. *L'Ere nucléaire.* Ed. Hachette, Paris, 1986.

[8] Rașcu, P. *Organizarea transporturilor speciale în timpul construcției și al exploatării centralelor nuclearoelectrice.* În : Construcții și montaje energetice, nr. 5, 1970, p. 225—230.

[9] * * * *Le programme electro-nucléaire français.* Prospect, 1984.

[10] Nicolet, L. Celier *La fiabilité humaine dans l'entreprise.* În : Revue Générale Nucléaire, nr. 3, 1985, p. 214—219.

[11] Rașcu, P. *Echipamentele electrice principale și amplasamentele stațiilor electrice de înaltă tensiune ale centralelor nuclearoelectrice. Situația pe plan mondial.* În : Energetica, 36, nr. 2, 1988, p. 62—72.

[12] Schreiber, S. *Sfidarea mondială.* Ed. Tehnică, București, 1982.

(Primit la 25 august 1989, acceptat la 19 septembrie 1989)

Probleme privind protecția mediului înconjurător

Ing. MARGARIOS SALGIAN, ing. CLAUDIA TOMESCU*

Descriptori: ecologie, poluare, mediu înconjurător

Protecția mediului înconjurător este cea mai importantă problemă de care trebuie să se țină seama la stabilirea amplasamentului unei centrale termoelectrice, mai ales în cazul utilizării combustibililor cu conținut ridicat de sulf și de cenușă.

În text sînt prezentate căile care conduc la poluarea mediului înconjurător, măsurile care se iau începînd cu proiectarea obiectivelor energetice pentru limitarea emisiunii de noxe și încadrarea lor în nivelurile prevederilor legale.

În final se prezintă o metodă pentru calcularea eficienței economice a măsurilor de protecția mediului înconjurător, precum și calcularea daunelor produse prin poluare.

Environment protection is the fost important problem to be taken into consideration when selecting the location of a thermal power plant, especially when the respective plant is running on fuels with high ash and sulphur content.

This text presents the factors resulting in environment pollution, the measures taken for this purpose in the power plant design phase, to reduce the noxious releases.

A method adopted for the calculation of the economic efficiency of the measures taken for the environment protection as well as the calculation of the pollution damages is presented at the end of this paper.

Introducere

Cerințele de energie electrică și termică ale societății moderne a impus dezvoltarea instalațiilor producătoare de energii. Dintre acestea centralele termoelectrice,consumatoare de mari cantități de combustibil, pot influența mediul înconjurător, conducînd uneori chiar la schimbarea nivelurilor de echilibru ecologic din zona în care sînt amplasate.

Evacuarea în atmosferă a noxelor rezultate din arderea combustibililor capătă o importanță deosebită odată cu creșterea numerică a centralelor termoelectrice cu puteri instalate din ce în ce mai mari, proiectate să utilizeze combustibili solizi inferiori și lichizi cu conținut ridicat de sulf combustibil. Principalele emisiuni nocive din gazele de ardere sînt: bioxidul de sulf, oxizi de azot, pulberi de cenușă în suspensie și sedimentabile.

Instalațiile de alimentare cu apă și canalizare aferente centralelor electrice determină poluarea mediului înconjurător prin:

— poluarea aerului cu particule solide sau prin evaporări;

— poluarea zonelor de deversare a apelor uzate cu substanțe în suspensie, a căror cantitate, mărime și natură constituie un factor de erodare, provoacă depuneri sau stînjenirea curgerii hidraulice;

— poluarea solului, a pînzei freatice și a emisarului cu substanțe chimice, în stare de suspensie sau dizolvate în apele reziduale.

Lucrările hidrotehnice pot constitui surse de poluare a aerului prin evaporări la turnurile de răcire și prin spulberarea zgurii și cenușii de către vînt.

Poluarea apelor poate avea loc atît pe fluxul de captare din surse, tratare și evacuare de ape uzate, cît și prin impurificarea pînzei freatice din zona centralei, a depozitului de cărbune și a depozitului de zgură și cenușă. Solul poate fi poluat în urma exfiltrațiilor din bazinele de omogenizare, din canalizările de ape uzate și din depozitul de zgură și cenușă.

Din cele arătate mai sus rezultă că centralele termoelectrice, datorită procesului tehnologic de producere a energiei electrice și termice, sînt surse care pot polua puternic mediul înconjurător, datorită „reziduurilor" pe care le elimină (cenușa zburătoare, bioxid de sulf, oxizi de azot, ape uzate, vapori de apă etc.).

Ca urmare, măsurile care se iau prin proiectare, prin realizarea instalațiilor cu performanțe ridicate cu grad redus de poluare, exploatarea corectă și întreținerea acestor instalații are ca scop reducerea la minimum a gradului de poluare.

Pe de altă parte, legislația din România reglementează valorile limită admisibile ale principalelor substanțe poluante.

În cele ce urmează se prezintă modul de poluare a mediului înconjurător, precum și măsurile care se iau, începînd cu proiectara obiectivelor energetice, pentru încadrarea în prevederile legale a emisarilor de noxe.

I. Poluarea apelor și a solului

Realizarea de centrale termoelectrice cu puteri instalate din ce în ce mai mari reclamă debite sporite de apă de răcire. Schema de apă de

* Ing. Margarios Salgian, ing. Claudia Tomescu — Institutul de Studii și Proiectări Energetice, București.

răcire, circuit deschis, închis sau mixt, adoptată pentru fiecare centrală termoelectrică în parte este influențată de sursele de apă din apropiere. La centralele la care alimentarea cu apă de răcire se face în circuit deschis, are loc o poluare termică, prin deversarea apei calde la o temperatură cu circa 7—10°C mai mare decît a apei captate. La centralele cu circuit închis utilizînd turnuri de răcire se produce o evaporare de circa 1,65% din debitul vehiculat.

În situația cînd sursa de apă brută constituie și emisarul apelor uzate, în bazinul hidrografic respectiv se produc fenomene negative, deoarece cantitățile de apă prelevată sînt mult mai mari decît cantitățile evacuate. Din procesul de pretratare a apei brute se deversează nămol din decantoare și nisip din filtre, 5—10% din debitul captat. Apele reziduale evacuate de la liniile de dedurizare și demineralizare sînt impurificate cu săruri de Ca, Mg, Na, acizi și baze. Aceste deversări sînt discontinue și nesimultane, astfel încît apele pot avea pH-ul cuprins între 1 și 14. Din rețeaua subterană de canalizare tehnologică se pot produce exfiltrații care să conducă la impurificarea pînzei freatice și a solului cu substanțele menționate. În mod accidental, prin preaplinul bazinelor de stocare și de pompare, aceste ape impurificate pot fi deversate în colectoarele de evacuare la emisar. Din gospodăria de combustibil lichid se evacuează intermitent sau accidental ape impurificate cu păcură, provenite din condens, spălări platforme și rampe de descărcare, ape pluviale. Scurgerile de păcură care se produc în zona rampelor și exfiltrațiile din rețeaua subterană de canalizare duc la impurificarea pînzei freatice și a solului. Apele uzate de la recipienții de purjă și de la spălări în stația de aer comprimat conțin urme de ulei, evacuările avînd caracter intermitent. Apele pluviale din zona depozitului de cărbune antrenează praful de cărbune și constituie o sursă de impurificare a solului, a pînzei freatice și a emisarului. De la grupurile sanitare se evacuează apele uzate menajere care conțin materii organice, hidrogen sulfurat, detergenți etc. Apele din depozitele de zgură și cenușă conțin în cantitate mare săruri de Ca, Si și Al, iar infiltrarea acestora poluează solul și determină creșterea alcalinității pînzei freatice.

La faza proiect de execuție de proiectare a centralelor noi sau a unor extinderi, se întocmește o documentație tehnică pentru obținerea acordului de la Consiliul Național al Apelor. Documentația conține schemele de fluxuri ale apelor în incinta centralei și în zonă, debitele de ape prelevate și deversate, impurificări și instalații de tratare, gradul de recirculare, consumuri proprii, pierderi nerecuperabile.

La întocmirea proiectelor se are în vedere legislația în vigoare, și anume:

— STAS 4705/1974 — *Condiții de calitate a apelor de suprafață. Indicatorii generali de calitate și valorile limită admisibile pentru ape de categoria III* (din punctul de vedere al domeniului de utilizare):

— amoniu (NH4) — maximum 10 mg/dm³;
— cloruri (Cl^-) — maximum 300 mg/dm³;
— concentrația ionilor de hidrogen (pH) 6,5—8,6;
— reziduu fix — maximum 1200 mg/dm³;
— sodiu (Na^+) — maximum 200 mg/dm³;
— hidrogen sulfurat și sulfuri (S^{2-}) — maximum 0,1 mg/dm³;
— sulfați (SO_4^{2-}) — maximum 400 mg/dm³;
— calciu (Ca^{+4}) — maximum 300 mg/dm³;
— consum biochimic de oxigen CBO_5 — maximum 12 mg/dm³;
— hidrocarburi din țiței și produse petroliere — maximum 0,1 mg/dm³.

— *Decret nr. 414/5.12.1979 privind valorile limită admisibile ale principalelor substanțe poluante din apele uzate înainte de evacuarea acestora în cursurile de apă receptoare*:

	Grad de diluție		[mg/dm³]
	1	50	100
— materii în suspensie	25	100	200
— consum biochimic de oxigen (CBO_5)	15	60	100
— hidrogen sulfurat și sulfuri (H_2S)	0,1	1	2
— cianuri (CN)	0,1	1	2
— fier total ionic	2	5	8
— mercur (Hg)	0,11	0,11	0,11
— cadmiu (Cd)	0,1	0,1	0,1
— plumb (Pb)	0,2	0,2	0,2
— zinc (Zn)	0,1	0,5	1
— detergenți anionici biodegradabili	0,5	15	30
— fenoli antrenabili cu valori de apă	0,02	0,3	0,6
— concentrația ionilor de hidrogen (pH) unități pH	6,5—8,5	6,5—8,5	6,5—8,5

— STAS 6560/1982 — *Ape de suprafață și ape uzate, determinarea consumului biochimic de oxigen* (CBO_5).

Valori orientative:
— ape uzate menajere CBO_5 =125—250 mg/l;
— efluent din stația de epurare CBO_5= 30—60 mg/l.

— *Ordinul Ministerului Sănătății nr. 623/1973 privind nivelul concentrațiilor substanțelor poluante.*

— *Normativ C 90—83 privind condițiile de descărcare a apelor uzate în rețelele de canalizare a centrelor populate.*

Valori normate:
— temperatura — maximum 40°C;
— pH 6,5—9;
— cianuri — maximum 1,0 mg/dm³;
— clor liber — maximum 1,0 mg/dm³;
— hidrogen sulfurat și sulfuri — maximum 1,0 mg/dm³;

— substanţe extractibile cu eter de petrol — maximum 30 mg/dm³;

— indicatori pentru protecţia betoanelor împotriva agresivităţii apei — conf. STAS 3349/79.

Valorile de atenţie pentru apa freatică privind agresivitatea:

— sulfatică SO_4 — maximum 250 mg/dm³;

— de dezalcalinizare HCO_3 — minimum 120mg/dm³;

— general acidă pH — minimum 6,5;

— carbonică CO_3;

— magneziană — maximum 1000 mg/dm³;

— săruri de amoniu NH_4 — maximum 100 mg/dm³;

— bazică, oxizi, alcali OH;

— concentraţie totală, săruri — maximum 10000 mg/dm³;

— temperatura apei 30°C vara, 22°C iarna;

— nivelul apei — limite faţă de fundaţii, conducte, canalizări etc.

— STAS 10686-76 — *Canalizări. Bazine pentru uniformizarea debitelor şi calităţii apelor uzate industriale. Prescripţii de proiectare.*

Măsurile necesare luate în proiectare pentru încadrarea în limitele normelor sanitare sau evitarea poluării, în vederea respectării Legii nr. 9/1973 privind protecţia aerului, a apelor şi a solului.

Pentru evitarea poluării se realizează o schemă de flux cu recirculări, recuperări de condens şi reutilizări de ape, astfel:

— purja din circuitul hidrotehnic de răcire se reutilizează la etanşarea pompelor Bagger;

— apele reziduale provenite din spălări la pretratare, demineralizare şi finisare, precum şi din purje cazane şi abur suflări se recuperează şi se transportă la bazin de pompele Bagger;

— apele reziduale din spălări la filtre de limpezire şi la dedurizare se transportă la un bazin de omogenizare calitativă şi cantitativă, apoi se pompează la bazinele de spălare pompe Bagger şi se reutilizează pentru evacuarea zgurii şi cenuşii;

— apa din circuitul de transport hidraulic al zgurii şi cenuşii se decantează în depozit, se captează prin puţuri deversoare de suprafaţă şi se recirculă prin pompare la bazinele de spălare ale staţiilor Bagger.

Pentru separarea suspensiilor şi a produselor organice din apele uzate, pe canalizări se prevăd următoarele:

— bazine de retenţie ape pluviale din depozitul de cărbune pentru reţinerea prafului de cărbune antrenat;

— separatoare de păcură pentru reţinerea particulelor de păcură din apele uzate de la gospodăria de combustibil lichid;

— separatoare de ulei pentru apele uzate de la staţiile de aer comprimat;

— decantoare şi fose septice pentru epurarea apelor uzate menajere.

În proiectarea depozitelor de zgură şi cenuşă, în afară de recircularea apei sînt luate şi alte măsuri pentru protejarea mediului înconjurător, astfel:

— împotriva poluării aerului prin spulberare se prevăd instalaţii de stropire în perioada execuţiei şi respectiv placarea cu pămînt a digurilor de suprainălţare din zgură şi cenuşă;

— evitarea exfiltraţiilor prin ampriza depozitului, fie prin alegerea unui amplasament în teren impermeabil, fie prin lucrări executate în mod special, cum sînt impermeabilizarea patului depozitului cu saltea de argilă, ecran impermeabil pe conturul depozitului, instalaţie de drenare a apei la baza digurilor.

Atît în zona incintelor tehnologice, cît şi în depozitul de zgură şi cenuşă, se efectuează sistematic controlul calităţii pînzei freatice prin prelevări de probe şi analiza chimică a apei din puţurile de observaţie prevăzute în acest scop.

II. Poluarea aerului datorită gazelor de ardere

Ministerul Sănătăţii stabileşte prin STAS 12574/87 condiţiile de calitate a aerului atmosferic, astfel încît concentraţiile maxime admise ale poluanţilor să asigure populaţia neprotejată, flora şi fauna din zona înconjurătoare obiectivului industrial, împotriva efectelor nocive ale acestor substanţe.

În tabelul 1 sînt prezentate normele sanitare admisibile pentru substanţele poluante specifice centralelor termoelectrice.

Tabelul 1

Substanţa poluantă	Concentraţia maximă admisă (mg/m³)		
	medie scurtă durată		medie lungă durată
	30 minute	zilnică	anuală
Dioxid de sulf	0,750	0,250	0,060
Dioxid de azot	0,300	0,100	—
Pulberi în suspensie	0,500	0,150	0,075
Pulberi sedimentabile		17 g/m² pe lună	

De asemenea, se ţine cont şi de efectul sinergic al SO_2 şi NO_2 cu pulberile în suspensie, prezente simultan în aer, concentraţia maximă admisă calculîndu-se cu relaţia:

$$\sum_{i=1}^{n} \frac{c_i}{c_{max}} \leqslant 1,$$

unde: $i = 1,2, \ldots n$;

c_i — concentraţia substanţei poluante i în aer;

c_{max} — concentraţia maximă admisă pentru substanţele poluante în aer.

Prin ordinul nr. 212/24.02.1981 Ministerul Sănătăţii a elaborat conţinutul cadru al docu-

mentației tehnice necesare obținerii avizului de protecția mediului înconjurător, fără de care nu poate fi aprobată nici o investiție.

Pentru respectarea calității aerului, ISPE ca proiectant al centralelor electrice a elaborat un act normativ PE 229/84 *Indreptar pentru dimensionarea coșurilor de fum în vederea asigurării dispersiei poluanților în limitele legislațiilor în vigoare* avizat de CNPMI, care stabilește metodologia de calcul pentru determinarea înălțimii coșurilor de fum, a concentrațiilor de SO_2 și pulberi de cenușă, precum și determinarea prin curbele de izopoluare a zonelor afectate și estimarea frecvenței de apariție în decursul unui an a acestei concentrații.

Determinarea prin calcul a concentrațiilor de noxe necesită cunoașterea a trei premise esențiale:

a) datele de emisie caracteristice sursei:
1 — localizarea sursei într-un plan de zonă;
2 — dimensiunile coșurilor de fum:
— înălțimea [m];
— diametru interior la vîrf [m];
3 — cantitatea de noxe evacuate [g/s];
4 — viteza de evacuare a gazelor pe coș [m/s];
5 — temperatura gazelor evacuate [°C];
6 — regimul de funcționare (variația sarcinii diurne, lunară sau anuală);

b) date meteorologice specifice zonei în care este localizată sursa pe perioada 3—5 ani:
1 — viteza vîntului la sol [m/s];
2 — direcția vîntului (16 direcții);
3 — temperatura aerului [°C];
4 — nebulozitatea atmosferei;

c) alegerea modelului matematic corespunzător pentru dispersia noxelor gazoase și sub formă de pulberi.

Modelul matematic utilizat este de circulație internațională și a fost verificat experimental între 1981—1983 la CET București Sud, CTE Turceni și CTE Anina, dovedind că raportul dintre valorile estimate prin calcul și cele măsurate pe teren oscilează ca valori medii între 0,85 și 1,05.

Calculul concentrației poluanților de tip aerosoli (SO_2 și pulberi în suspensie), se face cu o ecuație de tip gaussian bidimensional de forma:

$$c(x,\ y,\ z, H) = \frac{Q}{\pi \cdot \bar{u} \cdot \sigma_y \cdot \sigma_z} \cdot \exp\left\{-\frac{1}{2}\left(\frac{y}{\sigma_y}\right)^2\right\} \cdot$$

$$\cdot \exp \cdot \left\{-\frac{1}{2}\left(\frac{H}{\sigma_z}\right)^2\right\}, \ [\mathrm{mg/m^3}]$$

unde:

Q este cantitatea de noxe evacuată [mg/s];
$\bar{u}$ — viteza medie a vîntului [m/s];
σ_y, σ_z — coeficienții de dispersie dependenți de distanța față de sursă și gradul de stabilitate a atmosferei, calculați experimental de Briggs;
H — înălțimea efectivă a penei de fum [m];

$$H = h + \Delta h;$$

h — înălțimea fizică a coșului de fum [m];
Δh — supraînălțarea penei de fum, care se calculează cu formula lui Briggs:

$$\Delta h = a \cdot F^b \cdot c^d,$$

unde a, b, c, d sînt constatate în funcție de gradul de stabilitate a atmosferei, iar F se calculează în funcție de volumul gazelor de ardere, de diametrul interior la vîrf al coșului de fum și de temperatura gazelor de ardere.

Depunerile de cenușă (pulberi cu diametru $d > 10$ μm), se calculează cu relația elaborată de Sutton și corectată de Krieb, de forma:

$$D_i(x, \emptyset, H, f) =$$

$$= \frac{100 \cdot G_c \cdot i \cdot n_f \cdot t\left[P\dfrac{v_s}{u} + (2-x)\dfrac{H}{x}\right]}{\emptyset \cdot \pi^{3/2} \cdot 2^{1/2} \cdot \sigma_2} \cdot$$

$$\cdot \exp \cdot \left[-\frac{1}{2}\left(\frac{\dfrac{v_s}{u}x - H}{\sigma_z}\right)^2\right], \ [\mathrm{g/m^2}]$$

unde:

G_c este cantitatea totală de cenușă evacuată pe coș [t/h];
i — mărimea fracției [%];
n_f — număr de ore de funcționare a debitului instalat;
t — frecvența vîntului [%];
x — distanța sursă-receptor [m];
$\emptyset$ — arcul sectorului circular [rad];
P — coeficient meteorologic funcție de stratificare;
v_s — viteza de sedimentare a fracției i [m/s].

Pe baza modelului matematic prezentat mai sus au fost elaborate programe de calcul în limbaj FORTRAN, care permit, pe de o parte, dimensionarea unor coșuri de fum astfel încît să se respecte normele sanitare și, pe de altă parte, să se determine repartiția spațio-temporală a poluanților.

Desenarea curbelor de izopoluare se face cu ajutorul mesei de desen automat din DIGIGRAPH. Aria supusă studiului este împărțită sub formă de grilă rectangulară cu pas identic pe ambele axe, pas care se stabilește în funcție de importanța obiectivului și numărul de surse de poluare. Pentru fiecare nod al grilei programul calculează frecvența anuală de apariție a concentrațiilor de noxe ce egalizează sau depășesc un anumit prag de concentrații (submultiplu sau multiplu al c.m.a. specifică tipului de

noxe studiat și concentrația maximă realizată pe perioada unui an.

Documentațiile tehnice pentru proiectarea centralelor termoelectrice conțin un capitol numit „Poluare și coș de fum", în care este prezentată înălțimea coșurilor de fum aferente cazanelor și evaluarea gradului de poluare a zonei în care va fi amplasată centrala. În anexa 1 sînt prezentate, pentru exemplificare, curbele de izopoluare, ca urmare a noxelor emise de o termocentrală amplasată în apropierea unei așezări urbane.

În vederea reținerii pulberilor de cenușă măsurile aplicate în țară se referă la curățirea gazelor de ardere. Filtrarea gazelor de ardere este necesară pentru asigurarea nivelului concentrației acceptabile de 0,5—0,7 g/m² în vederea protejării mediului ambiant. Electrofiltrele folosite în centralele termoelectrice sînt în măsură să răspundă integral cerințelor de desprăfuire a gazelor de ardere, avînd un grad de reținere de 99,00—99,5%.

În perioada 1975—1977 au fost proiectate instalațiile de desprăfuire electrică (generația I) care echipează gama de cazane pe combustibil lignit, pentru care s-au întocmit proiecte în ICSITEE. Electrofiltrele au cîte două cîmpuri, secționalizarea alimentării în curent de înaltă tensiune este redusă, iar gradul de desprăfuire în jurul valorii de 99%. Alimentarea cu înaltă tensiune este realizată cu echipamente de înaltă tensiune de 80 kV (tensiune de nivel) asimilate integral în țară în șapte variante de putere. Ulterior, în anul 1978, pentru a se elimina erodarea ventilatoarelor de gaze de ardere provocată de conținutul ridicat de cenușă din cărbune, instalațiile de desprăfuire electrică pentru echiparea blocurilor de la CTE Turceni, etapa II-a, au fost proiectate cu un grad de desprăfuire mai ridicat, realizat prin electrofiltre în trei cîmpuri și secționalizare mai avansată. Un loc special în concepția de electrofiltre îl ocupă proiectele instalațiilor de desprăfuire pentru echiparea cazanelor de 520 t/h de la CTE Anina concepute pentru a lucra în condiții deosebite (conținut de 270 g/m³ praf intrare și grad de desprăfuire de 99,5%), instalațiile de desprăfuire ale primelor două cazane fiind alcătuite din cîte patru electrofiltre suprapuse două cîte două, fiecare electrofiltru avînd cinci cîmpuri de separare cu grad ridicat de secționalizare. Ca urmare a experienței acumulate între timp, la proiectarea instalațiilor de desprăfuire electrică pentru cel de al doilea bloc a fost posibilă utilizarea a numai două electrofiltre, fiecare cu cîte șase cîmpuri cu înălțime sporită.

În perioada următoare, concepția instalațiilor de desprăfuire electrică a fost dirijată în sensul ridicării performanțelor, modernizării echipamentelor și creșterii fiabilității instalațiilor, creșterii gradului de separare al instalațiilor de desprăfuire pentru o dimensionare adecvată, adoptării unui număr sporit de cîmpuri, îmbunătățirii formei electrozilor de depunere, trecerii la un pas mai mare între electrozi, așa cum este în prezent tendința pe plan mondial, ceea ce permite realizarea unor utilaje cu eficacitate ridicată și consum mai redus de metal în condițiile unei utilizări mai eficiente a posibilității echipamentelor de înaltă tensiune, asimilării echipamentelor și a cablurilor de înaltă tensiune cu valoarea de vîrf de 111 kV, ceea ce permite existența între electrozi a unei diferențe de potențial maxim de 65 kV curent continuu (față de 49,5 kV asigurată de echipamentele caracteristice primei generații).

În anexa 2 este prezentată dependența concentrației de pulberi în suspensie cu gradul de reținere al electrofiltrului. Prin utilizarea de instalații de desprăfuire electrică cu grad de desprăfuire de 99%, concentrațiile de pulberi în suspensie nu sînt mai mari de 10—20% din concentrația maximă admisă.

Instalațiile de desprăfuire electrică din generația a II-a puse pînă în prezent în funcțiune la un număr de centrale electrice au demonstrat atingerea obiectivelor propuse, și anume: reducerea emisiunilor la coș concomitent cu creșterea fiabilității proprii și a duratei de utilizare a rotoarelor de la ventilatoarele de gaze de ardere ale cazanelor respective.

Dioxidul de sulf este considerat principalul poluant atmosferic datorită conținutului de sulf elementar din combustibilii solizi inferiori și lichizi pe care îi utilizăm în cazanele energetice. În condiții de mare umiditate, în prezența aerosolilor SO_2 și SO_3 produc acid sulfuros și acid sulfuric cu acțiuni nocive asupra suprafețelor metalice și participînd direct la fenomenul de „smog" de fotosinteză. Concentrația de SO_2 variază aproximativ liniar cu coeficientul de exces de aer, scăzînd pe măsură ce acesta crește (anexa 3).

În anexa 4 este prezentată variația concentrației de SO_2 în funcție de distanța față de sursă pentru diferite înălțimi ale coșului de fum. Se observă că pentru un caz dat, gradul de poluare și distanța unde se atinge concentrația maximă de SO_2 este funcție de înălțimea coșului de fum.

Dispersia dioxidului de sulf în atmosferă depinde de locul de amplasare a centralei electrice, de relieful zonei respective, dacă este așezată într-o zonă cu relief plan sau într-o zonă cu orografie mai complicată. Astfel, pentru reducerea concentrației de dioxid de sulf cazanele aferente centralelor electrice proiectate în ultimii ani au fost racordate la coșuri de fum cu înălțimi peste 200 m, de exemplu CTE Turceni, CET Brașov, CET Bacău, CET Drobeta Turnu-Severin etc.

Menționăm că atît electrofiltrele,cît și coșurile de fum sînt dimensionate pentru un anumit tip de combustibil cu o compoziție chimică (Sc și A^l), iar schimbarea lui în sensul înrăutățirii calității în timpul exploatării produce modificarea concentrațiilor de noxe, ducînd de regulă la majorarea lor și deci la depășirea normelor sanitare. Dintre oxizii de azot cel mai periculos poate fi NO_2, avînd efecte inflamatorii asupra căilor respiratorii, iar prin formarea de acid HNO_3 sub formă de aerosoli este agresiv pentru suprafețele metalice. Cantitatea de NO_2 depinde fundamental de excesul de aer, deci de calitatea conducerii arderii, de combustibilul utilizat și de tipul focarului.

La noi în țară preocupările legate de măsurarea și limitarea emisiunilor de azot sînt încă în fază incipientă. Pînă în prezent, prin proiectele ISPE, conform normativelor în vigoare, emisiile de SO_2 au fost limitate numai prin construirea de coșuri de fum înalte. Mărirea înălțimii coșurilor de fum însă nu este suficientă pentru micșorarea concentrațiilor de SO_2, fiind necesară aplicarea de noi soluții de reducere a emisiilor. Aceasta este necesar mai cu seamă la centralele electrice la care a fost schimbat combustibilul de proiect, de exemplu termocentralele din București care funcționau inițial cu gaze naturale și păcură cu conținut redus de sulf (1,1%) funcționează în prezent cu păcură sulfuroasă (4,5%), ceea ce a implicat depășirea normei sanitare de peste trei ori.

În țară sînt în curs de cercetare și experimentare următoarele procedee de desulfurare a gazelor de ardere provenind din arderea combustibililor în centralele electrice :

a — instalație de desulfurare prin procedeul semiuscat „spray dry absortion" prin care dioxidul de sulf din gazele de ardere este reținut prin pulverizarea unei suspensii apoase de hidroxid de calciu. Această instalație a fost aplicată de ICEMENERG ca stație pilot la cazanele de 10 t/h tip GIR de la CTZ Bragadiru. Sînt necesare experimentări ulterioare cu alți reactivi de desulfurare și pentru tehnologii cu var uscat și umezire etapizată cu var. De asemenea, pentru optimizarea tehnologiei este necesară proiectarea unei instalații de talie industrială ;

b — instalație de desulfurare uscată a gazelor de ardere prin posibilitatea adaptării electrofiltrelor în vederea reținerii produselor rezultate din acest proces. Procedeul propus de ICSITEE presupune injecția uscată a prafului de calcar în focarul superior al cazanelor de 30 t/h funcționînd pe lignit ;

c — instalație de desulfurare a gazelor de ardere studiată de IITPIC pentru experimentarea a două variante tehnologice :

— absorbția SO_2 din gazele reziduale de CO, în soluție de hidroxid de sodiu ;

— absorbția SO_2 din gazele reziduale de CO, în mediu de săruri de calciu (suspensie lapte de var).

Procedeele de desulfurare a gazelor de ardere menționate mai sus sînt încă în faza incipientă, de experimentare, necesitînd încă cercetări pentru dimensionarea unei instalații optime, care să fie utilizată în centralele electrice.

Pentru a calcula eficacitatea economică a măsurilor de protecție a mediului ambiant trebuie să se țină cont de următoarele aspecte principale :

1. Ansamblul măsurilor de protecție a mediului înconjurător trebuie să asigure, pe de o parte, exigențele privind calitatea apelor, aerului și solului, iar, pe de altă parte, maximizarea avantajului ce decurge pentru economia națională privind ameliorarea mediului și utilizarea mai completă a resurselor naturale.

2. Ansamblul măsurilor de protecție trebuie evaluat în funcție de rezultatele ecologice, sociale și economice obținute prin aplicarea lor :

a — *ecologic* : este constituit prin efectele noxelor asupra mediului, prin reducerea poluării și ameliorarea calității aerului, apelor și solului;

b — *social* : este exprimat prin ameliorarea dezvoltării fizice a populației, diminuarea mortalității, mărirea longevității și a duratei vieții active, ameliorarea condițiilor de muncă și repaos, precum și conservarea valorilor estetice și peisajelor naturale și a monumentelor, prin crearea condițiilor favorabile pentru dezvoltarea potențialului creativ, a personalității omului;

c — *economici* este constituit prin economiile sau absența pierderilor resurselor naturale protejate sau a pierderilor de muncă în sectorul producției industriale, grație măsurilor de protecție a mediului.

3. Apropierea între sectoarele economiei naționale pentru stabilirea măsurilor bine fondate de protecție a mediului pentru teritoriul examinat (oraș, regiune, județ, țară).

Daunele pe care le poate aduce poluarea mediului ambiant sînt constituite din următoarele :

— serviciile medicale necesare populației care se poate îmbolnăvi ;

— compensarea pierderilor suportate de producția netă datorită reducerii productivității muncii ;

— compensarea pierderilor rezultate de impactul asupra fondurilor fixe.

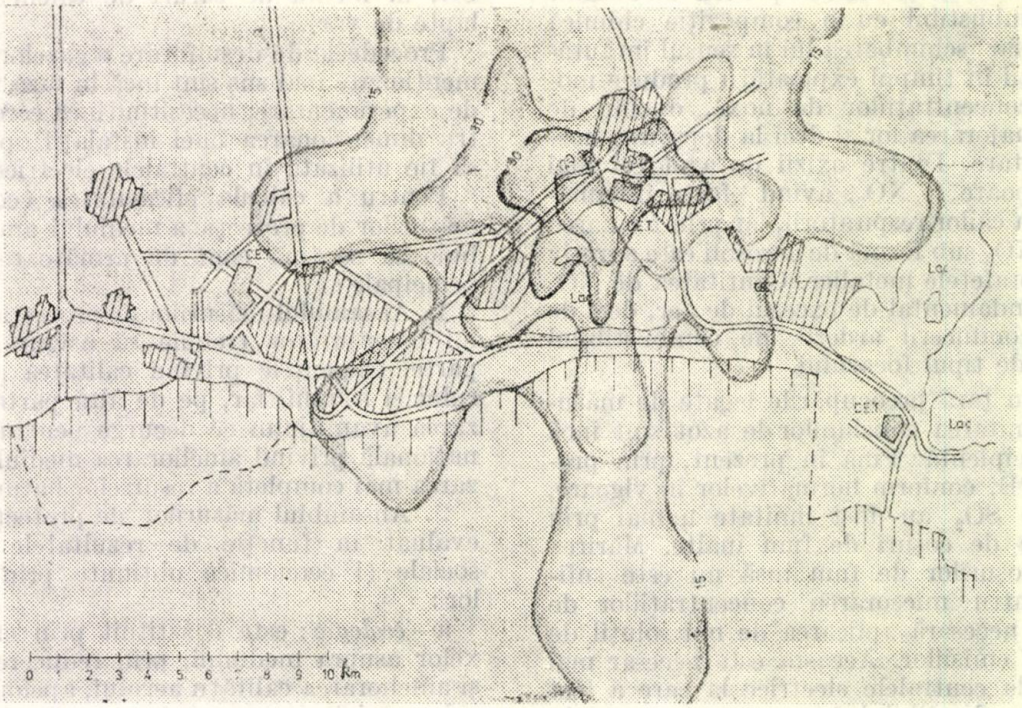
Acestea pot fi exprimate matematic astfel :

$$D = \gamma \cdot \sigma \cdot f \cdot M \text{ (lei/an)},$$

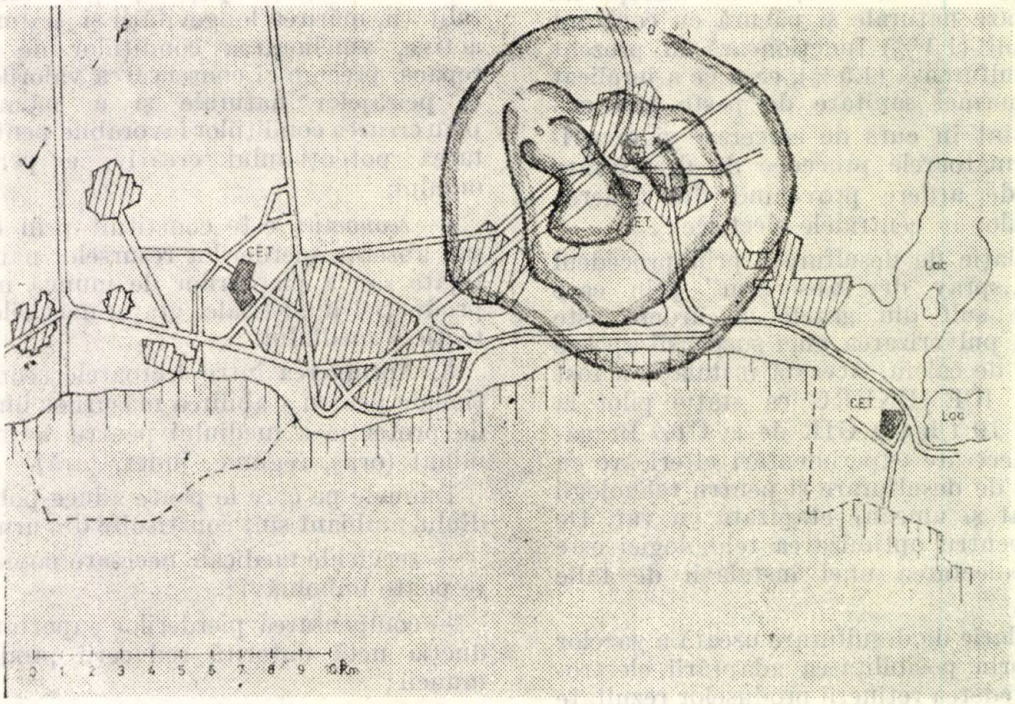
unde :

γ este constantă în funcție de anul de aplicare a măsurii de protecție a mediului ambiant ;

Anexa 1.1. Concentrații medii anuale SO_2 mg/m³.



Anexa 1.2. Frecvența de depășire a concentrației maxime admisibile pentru SO_2 [%].



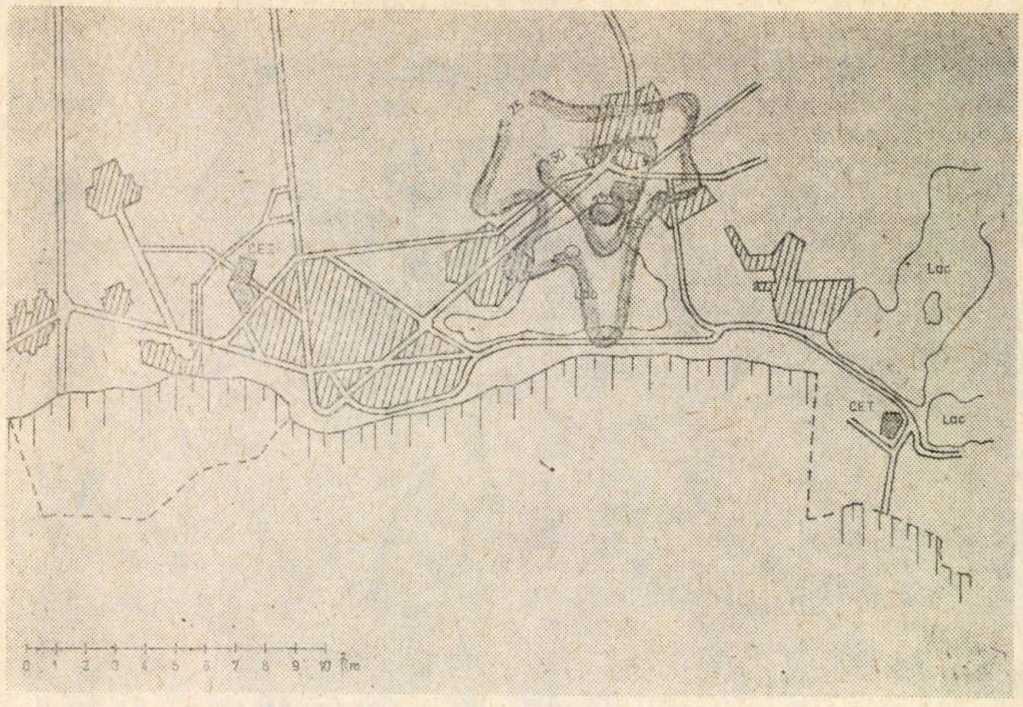
σ — indice de pericol relativ datorită poluării pentru diferite zone. Distingem mai multe tipuri de zone:

— staţiuni balneare şi de odihnă:
— cu rezervaţii naturale;
— cu densitate mare demografică;
— industriale;
— agricole etc.;

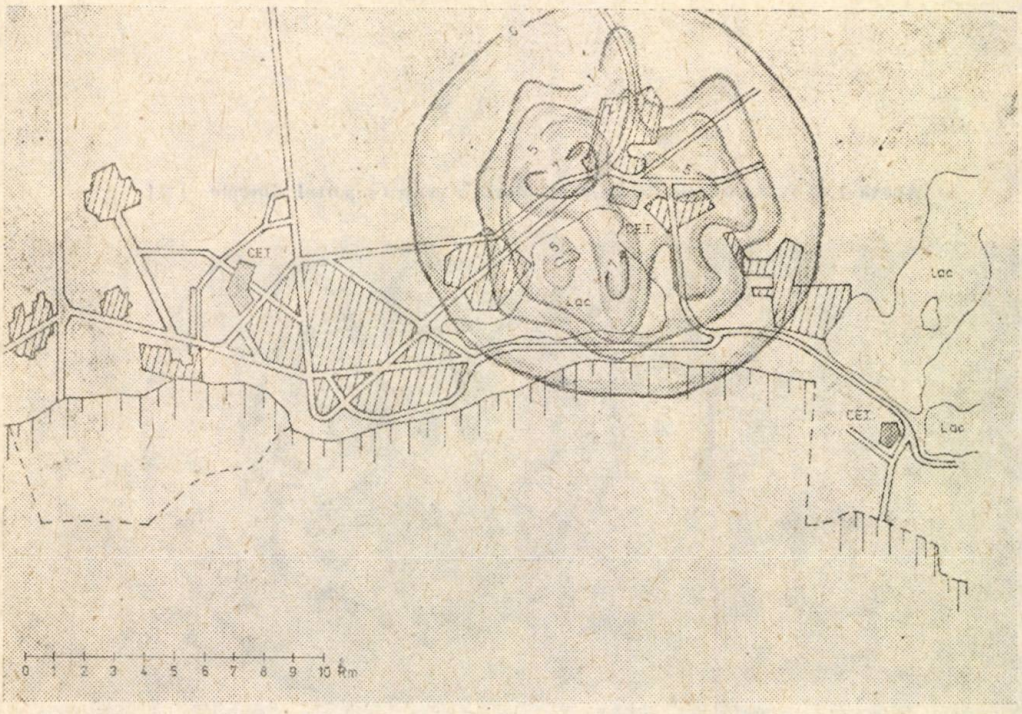
f — factor de corecţie ţinînd cont de modul de dispersie a noxelor în atmosferă (determinat de înălţimea fizică a coşului, de supraînălţarea penei de fum, de valoarea medie anuală a vitezei vîntului şi de viteza gazelor de ardere;

$M = \sum_{i=1}^{N} A_i \cdot m_i$ — cantitatea de poluanţi emişi în timpul unui an de sursă, în care m_i este cantitatea de substanţe evacuate, N este nu-

Anexa 1.3 Concentrațiile medii anuale de pulberi în suspensie [mg/m³]



Anexa 1.4. Frecvența de depășire a concentrației maxime admisibile pentru pulberi în suspensie [%]



mărul total de substanțe evacuate și A_i este indice de agresivitate relativă a substanței respective.

Ca probleme de perspectivă privind reducerea poluării mediului ambiant sînt:

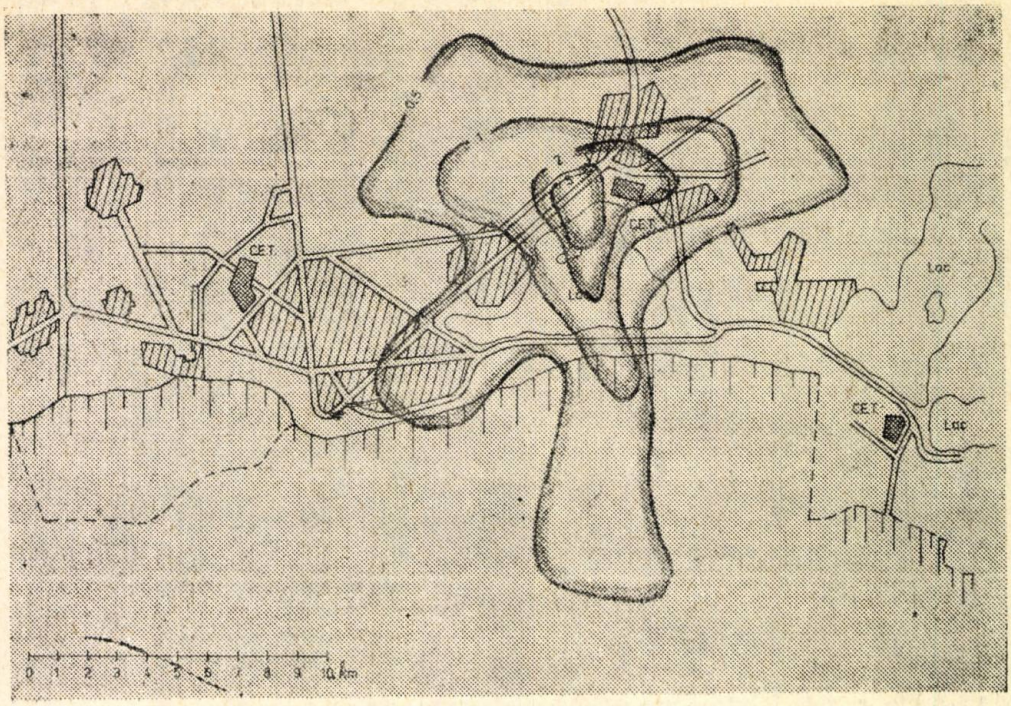
1 — creșterea exigenței în exploatare pentru menținerea în bună stare a electrofiltrelor la termocentralele ce funcționează pe cărbune;

2 — proiectarea unor instalații de desulfurare a gazelor de ardere;

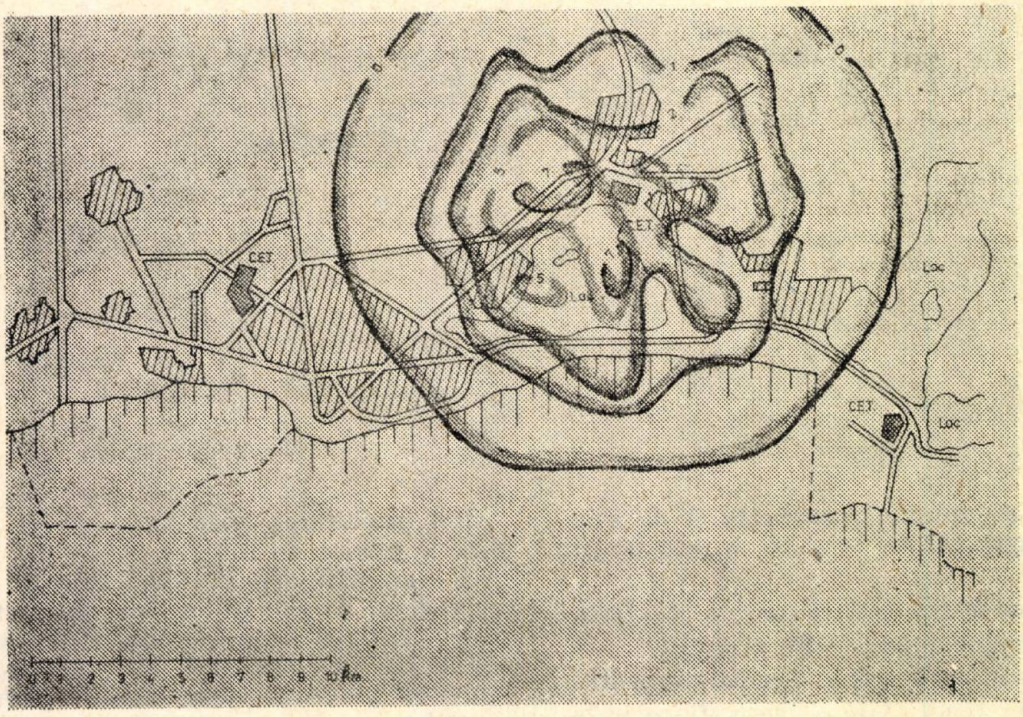
3 — studierea unor metodologii de stabilire a gradului de poluare cu acizi de azot;

4 — dotarea termocentralelor cu aparatură de urmărire și control ale poluării mediului ambiant pentru a putea corela regimul lor de funcționare cu caracteristicile meteorologice ale zonelor în care sînt amplasate.

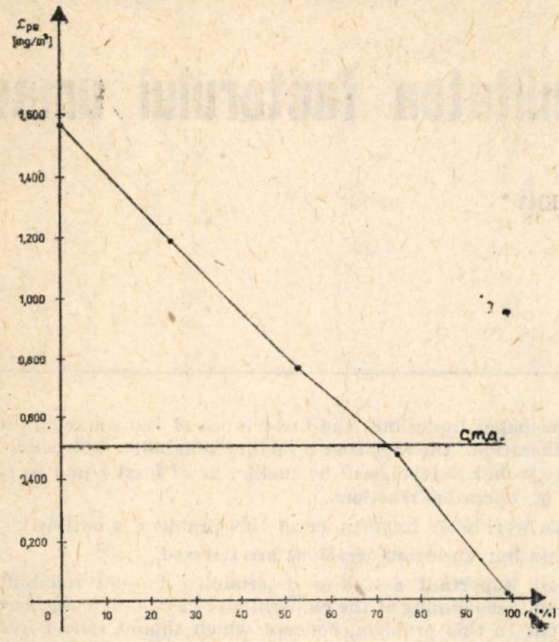
Anexa 1.5. Raportul sinergic SO_2 pulberi în suspensie (medii anuale).



Anexa 1.6. Frecvența de depășire a valorii 1 pentru raportul sinergic [%]

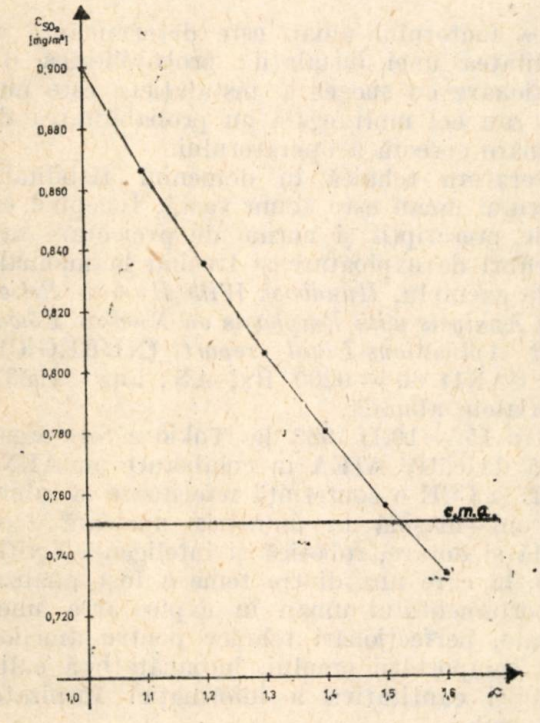


Anexa 2. Variația concentrației de pulberi în suspensie cu gradul de reținere al electrofiltrului



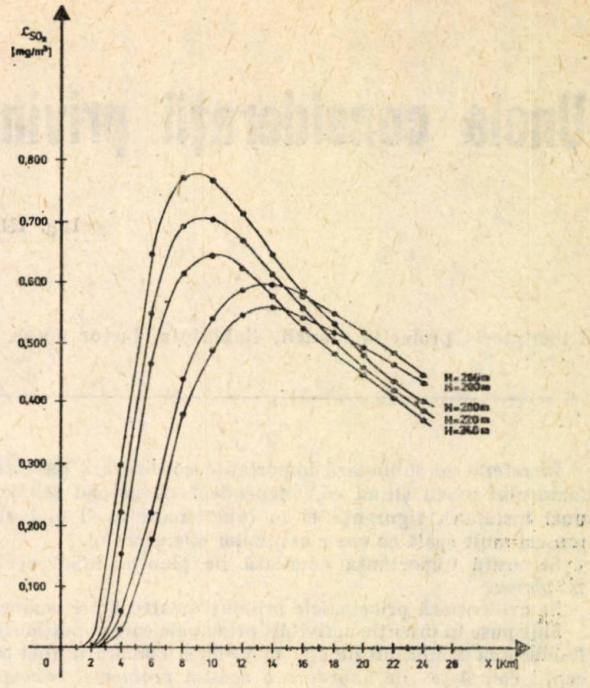
Concentrația maximă momentană admisibilă 0,500 mg/m.

Anexa 3. Variația concentrației de SO_2 cu coeficientul de exces de aer.



Conecentrația maximă momentană admisibilă 0,750 mg/m.

Anexa 4. Variația concentrației de SO_2 în funcție de distanța



față de sursă pentru diferite înălțimi ale coșului de fum.

Bibliografie

[1] M.E.E PE 229/84 — *Îndreptar pentru dimensionarea coșurilor de fum ale termocentralelor în vederea asigurării dispersiei poluanților.* I.C.M.E.N.E.R.G, 1984.

[2] Pascu, I., Ursu, V. *Protecția mediului înconjurător.* Ghid practic, București 1978.

[3] Moțoiu, C. *Centrala termoelectrică și mediul înconjurător, posibilități actuale de reducere a influențelor poluante.* În: Energ, vol. 1, 1986, p. 127.

[4] Moțoiu, C., Mușatescu, V. *Prognoza emisiilor de noxe în gazele de ardere ale termocentralelor. Concluzii rezultate din datele lunare de exploatare.* Consfătuirea „Influențe reciproce între instalațiile energetice și mediul înconjurător" Tg. Mureș, nov. 1982

[5] Precup, M., Schmidt R,. Burbac, C. *Cenușa de termocentrală și mediul înconjurător.* Consfătuirea „Influențe reciproce între instalațiile energetice și mediul înconjurător" Tg. Mureș, nov. 1982.

[6] Bruce Turner, D. *Warch book of atmospherical dispersion estimates.* EPA, 1970.

[7] Smith, M. E., Dinger, I. A. *Recommanded guide for the prediction of airborn effluents* — ASME 1970.

[8] EP/GE 4/R. 63 — Add 1 — *Aspecte economice privind protecția mediului înconjurător,* 16 iulie 1986.

(Primit la 22 iulie 1989, acceptat la 10 august 1989)

Unele considerații privind fiabilitatea factorului uman

Ing. HERMINA ALBERT *

Descriptori: protecția muncii, fiabilitate, factor uman

În referat se subliniază importanța considerării fiabilității factorului uman știind că, independent de nivelul tehnic al unei instalații, siguranța ei în funcționare va fi mai mică sau cel mult egală cu cea a acțiunilor operatorului.

Se arată importanța acordată pe plan mondial acestei probleme.

Se evidențiază principalele prilejuri pentru erori umane.

Sînt puse în discuție activități principale care condiționează fiabilitatea factorului uman, în vederea elaborării unei concepții complete de abordare a acestei probleme, concepție care să se reflecte în acte normative, în proceduri.

The paper underlines the importance of human reliability consideration, the fact that a facility reliability, independent on its technical level, will be smaller or at least equal to the one of operators'reactions.

The worldwide importance of this problem is outlined.

Main human errors occasions are stressed.

Most important activities determining human reliability are discussed aiming at the elaboration of a complete approach concept to this problem, concept which should reflect itself in norms and procedures.

Siguranța în funcționare a constituit din totdeauna o preocupare principală a energeticienilor.

În ultinele decenii preocupările legate de aceasta și-au schimbat caracterul: de la o tratare deterministă a problemei s-a trecut la o tratare statistico-probabilistică. S-au dezvoltat metode și modele complexe, care au căutat să reprezinte cît mai exact fenomenele, să ducă la rezultate (indicatori) care să permită o caracterizare completă, cantitativă, a instalațiilor din acest punct de vedere.

Fără să fie complet uitat, factorul „om", care nu putea fi ușor caracterizat din punct de vedere fiabilistic, nu intra direct în calculul indicatorilor de siguranță. În unele cazuri, la analiza instalațiilor se ține seama, de exemplu, de numărul manevrelor ce trebuiau efectuate pentru realizarea unei anumite funcțiuni și se penalizau — arbitrar — indicatorii de siguranță ai instalațiilor în care numărul de manevre era mai mare, deci probabilitatea mai mare de manevră greșită sau de refuz al acționării.

Avariile de la centralele nuclearoelectrice din ultimii ani au evidențiat însă faptul că peste fiabilitatea factorului uman nu se poate trece cu ușurință. Cu cît o instalație este mai complexă, cu o tehnicitate mai ridicată, cu atît operatorul trebuie să fie mai calificat și mai atent ales pentru exploatarea ei. Fiabilitatea factorului uman este determinantă în fiabilitatea unei instalații: probabilitatea de funcționare cu succes a instalației este mai mică sau cel mult egală cu probabilitatea de acționare corectă a operatorului.

Literatura tehnică în domeniul fiabilității factorului uman este acum vastă. Începînd cu simple prescripții și norme de proiectare sau proceduri de exploatare și trecînd la manuale ca, de exemplu, *Handbook With Human Reliability Analysis with Emphasis on Nuclear Power Plant Aplications-Final report* (NUREG/CR 1278 SAND 80 — 0200 Rx, AN, aug. 1983), materialele abundă.

Între 15 — 19.II.1988 la Tokio a fost organizată de către AIEA în colaborare cu AEN/OCDE și CCE o conferință referitoare la interfața om—mașină în industria nucleară (comandă și dotare, robotică și inteligență artificială), la care una dintre teme a fost analiza comportamentului uman în exploatarea unei centrale, perfecționări tehnice pentru ameliorarea comportării omului, îmbunătățirea calitativă și cantitativă a informației furnizate operatorului.

* * *

O abordare completă a problemei fiabilității factorului uman, în numai cîteva pagini, nu este practic posibilă.

Prin acest articol nu se urmărește, deci, o prezentare sintetică a stadiului actual al tratării problemei pe plan mondial. Ținînd seama de stadiul acesteia în alte țări și în țara noastră,

* Ing. Hermina Albert — Institutul de Studii și Proiectări Energetice, București.

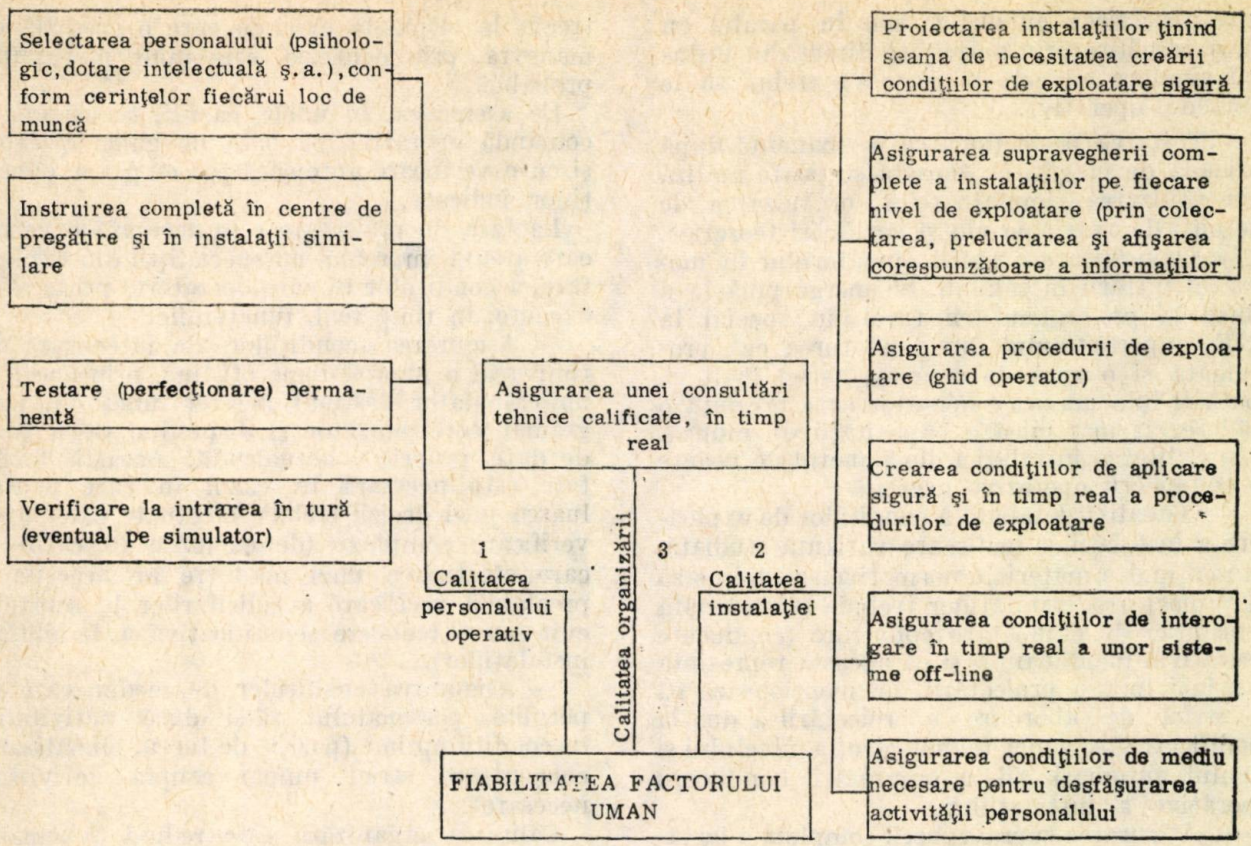


Fig. 1. Principalele activităţi care condiţionează fiabilitatea factorului uman.

se propun, doar spre analiză, unele activităţi care se consideră că influenţează direct fiabilitatea factorului uman. Scopul prezentării este ca, odată cu dezbaterea şi apoi definitivarea lor, aceste activităţi să devină obligatorii, să fie normate şi prin aceasta să se realizeze o cale de asigurare a unui personal operativ calificat, pus în condiţii de acţionare tehnice şi organizatorice optime.

La stabilirea acestor activităţi s-a avut în vedere că cele mai frecvente erori sînt uitarea unor obligaţii, întîrzieri în acţionare sau luarea unor decizii greşite.

Situaţiile în care apar mai frecvent erorile umane sînt:

— probele şi operaţiile de întreţinere;

— apariţia unei alarme;

— manevrarea unor instalaţii puţin utilizate, a celor care au mai puţine elemente redondante sau sînt insuficient automatizate sau a celor care au defecte de concepţie a instalaţiei propriu—zise sau a celei de comandă operativă;

— schimbarea turei;

— activitatea de noapte sau la ora prînzului.

O evidenţă completă privind frecvenţa şi respectiv probabilităţile apariţiei erorilor ar putea servi la o evaluare probabilistică a fiabilităţii factorului uman.

În figura 1 se prezintă schematic activităţile menite să asigure:

a) calitatea personalului operativ;

b) calitatea instalaţiei, din punctul de vedere al unei exploatări sigure;

c) calitatea organizării, pentru a se asigura condiţii optime de exploatare.

a. Calitatea personalului necesită:

— O selectare strictă a personalului în conformitate cu cerinţele fiecărui loc de muncă. Aceasta presupune o analiză prealabilă riguroasă care să ducă la stabilirea condiţiilor impuse din punctul de vedere al structurii psihice şi intelectuale, a condiţiilor fizice. Examenele medicale, testele de toate categoriile sînt normate în majoritatea sistemelor energetice. Nu se fac excepţii la angajare. De regulă, alegerea personalului pentru a trece probele de selecţie se face după o perioadă de angajare temporară, în care comportamentul acestuia este permanent urmărit.

De menţionat rolul deosebit de important care se acordă în prezent psihologilor, contribuţia lor fiind hotărîtoare, atît în stabilirea normelor şi testelor, cît şi în alegerea personalului.

— Existenţa unor centre de instruire pe profil, bine dotate tehnic şi cu personal calificat, cu experienţă mare în exploatare. Instruirea completă a personalului în aceste centre şi,

după absolvirea cursurilor sau în paralel cu ele, o pregătire prin activitate directă în instalaţii similare cu cele pe care va trebui să le comande operativ.

— Testarea (perfecţionarea) permanentă, după perioada de pregătire. Aceasta se poate realiza prin utilizarea simulatoarelor, organizarea de exerciţii de avarii pe viu şi verificări teoretice.

— O verificare a stării operatorului în momentul intrării în schimb. Se merge pînă la a aduce la ora schimbării turei, în special la CNE, a personalului din două ture; cea programată şi o tură de rezervă, astfel încît să poată fi înlocuit orice operator care prezintă o scădere cît mai mică a capacităţii de muncă.

b) Calitatea instalaţiei din punctul de vedere al conducerii operative necesită :

— O analiză detaliată a condiţiilor de exploatare a instalaţiilor în fiecare variantă studiată. În mai multe materiale normative se subliniază că proiectarea instalaţiilor trebuie subordonată concepţiei de exploatare convenite (conducere operativă, mentenanţă) şi că aceasta reprezintă o primă fază a proiectării. Se menţionează că o astfel de abordare a proiectării a dus la modificarea schemei tehnologice, a nivelului şi tipului automatizării, a organizării conducerii operative a instalaţiilor.

— Asigurarea supravegherii complete a instalaţiilor pe care le are în conducerea operativă un operator. Colectarea tuturor informaţiilor necesare, prelucrarea lor astfel încît să se asigure controlul încadrării lor în limite economice şi în limite tehnic admisibile, afişarea lor corespunzătoare (cu alarmare în cazul neîncadrării în limite) reprezintă un minim necesar, ce trebuie avut în vedere încă de la începutul proiectării.

— Asigurarea procedurilor de exploatare în regim normal, de alarmare şi de incident, pentru instalaţia cu toate elementele în funcţiune sau cu unele retrase din exploatare. Acestea sînt elaborate pe baza datelor din proiecte şi a experienţei de exploatare a instalaţiilor similare. În practica actuală, cînd conducerea operativă se realizează cu ajutorul calculatoarelor de proces, procedurile sînt transformate în ghid operator care se afişează la cererea operatorului sau — în unele cazuri cu totul deosebite — automat.

Trebuie menţionat însă că ghidul operator răspunde unei probleme nu complet definite. Operatorul este acela care trebuie, în fiecare moment, să facă adaptări la micile modificări ale problemei, în cazul unor informaţii incomplete.

— Crearea condiţiilor de aplicare sigură şi în timp real a procedurilor de exploatare constituie o preocupare majoră.

Astfel se ştie, de exemplu, că în multe centrale nuclearoelectrice s-a renunţat la camerele de comandă cu elemente miniaturizate şi s-a trecut la elemente mari cu care o greşeală de manevră, prin confuzie, este mult mai puţin probabilă.

De asemenea, în unele cazuri, se asigură o comandă operativă pe bază de ghid operator şi cu o verificare automată pas cu pas a operaţiilor indicate.

La faza de proiectare este necesară o verificare atentă împreună cu specialiştii din exploatare, a condiţiilor în care operatorul poate să-şi execute, în timp real, funcţiunile.

— Asigurarea condiţiilor de interogare în timp real a unor sisteme off-line, prin acces la un calculator destinat acestei funcţiuni, programat corespunzător şi dispunînd de o bază de date proprie — actualizată. Această facilitate este necesară în cazul în care pentru luarea unei decizii trebuie efectuate calcule de verificare complexe (de exemplu în cazul în care efectuarea unei manevre ar necesita o prealabilă verificare a solicitărilor la scurtcircuit sau o reducere semnificativă a fiabilităţii instalaţiilor).

— Asigurarea condiţiilor de mediu care să permită personalului să-şi ducă activitatea în condiţii optime (poziţie de lucru, climatizare, concentrare strict numai asupra activităţii necesare).

Calitatea organizării este redusă schematic în articolul de faţă numai la asigurarea unui grup de specialişti de înaltă calificare, care, atunci cînd apar situaţii în afara celor avute în vedere la stabilirea procedurilor sau în cazul în care prin acţionare conform procedurilor nu se obţin rezultatele dorite, să răspundă — în timp real — întrebărilor personalului operativ.

Evident, aceşti specialişti ar putea fi o grupă cu regim de personal în tură (de exemplu centralele nuclearoelectrice din Canada au astfel de grupe complexe care se găsesc în centrul de comandă pe centrală) sau poate fi constituită din specialişti care pot fi consultaţi — la nevoie — la operator.

* * *

Departe de a epuiza problema fiabilităţii factorului uman, acest articol a urmărit — aşa cum s-a arătat de la început — să ridice unele probleme deosebit de actuale pentru creşterea siguranţei în funcţionare a instalaţiilor energetice. Ele se pot rezolva numai printr-o abordare largă a problemelor, prin conlucrarea unor specialişti din diferite domenii de activitate (şi nu în ultimul rînd în psihologie).

Conştienţi că funcţionarea sigură a sistemului energetic — oricît de ridicat ar fi nivelul tehnic al instalaţiilor — este condiţionată de factorul uman, este necesar să urmărim elaborarea unei concepţii complete — reflectată în acte normative, proceduri etc. — pentru asigurarea fiabilităţii acestuia.

(Primit la 22 mai 1989, acceptat la 19 septembrie 1989)

ADAPTAREA SOCIO-PROFESIONALĂ A PERSONALULUI PENTRU ACTIVITĂȚILE DIN UNITĂȚILE M.E.E.

În luna iulie a avut loc la Sibiu cea de-a treia consfătuire cu tema „Pregătirea și perfecționarea profesională a personalului din unitățile M.E.E." În încheierea consfătuirii a avut loc masa rotundă organizată de revista Energetica, cu o tematică restrînsă, care avea ca scop scoaterea în evidență a trei aspecte. Acestea suscită un interes particular, avînd în vedere specificul lor aparte legat de industria energetică. Au participat 32 de persoane de specialități diferite: ingineri, psihologi, lucrători din învățămînt. Pentru fiecare din cele trei teme propuse spre discuție s-au făcut scurte prezentări de problematică.

Psiholog Cristina Agopian a prezentat aspecte teoretice ale primului subiect de discuție „**Adaptarea personalului feminin la activitățile din industria energiei electrice și termice**".

Procesul de adaptare și maturizare socio-profesională vizează un ansamblu de elemente și activități primare ce determină trecerea de la un echilibru mai puțin stabil între organism și mediu la un echilibru mai stabil și presupune o serie de aspecte care se pot concentra astfel:

— latura profesională ce se manifestă prin eficiență, maximizarea performanțelor, integrarea optimă la cerințele muncii, organizarea microcondițiilor de la locul de muncă;

— latura socială ce presupune interrelații contribuante în grupul profesional, destinse atît pe verticală, cît și pe orizontală, precum și conștientizarea obligațiilor sociale;

— latura psihologică ce presupune dezvoltarea inteligenței și gîndirii specifice, formarea de deprinderi, atenție stabilă și susținută.

Cercetările referitoare la natura feminină și capacitatea ei de integrare în muncă arată că, dacă particularitățile biofiziologice impun repartiții diferențiate ale femeilor și bărbaților în muncă, aptitudinile și trăsăturile de personalitate constituie obiectul selecției la nivelul persoanei, indiferent de sex.

Cercetările de fiziologie precizează că femeia este o unitate biologică, deosebită calitativ, dar nu inferioară bărbatului, diferențiindu-se în special prin funcția de bază a maternității, dar și în ceea ce privește sistemul osos și cel muscular, care sînt mai puțin dezvoltate. În condițiile dezvoltării automatizării, această caracteristică nu mai constituie un impediment în a folosi forța de muncă feminină.

Referitor la mediile toxice, repartiția forței de muncă feminină trebuie făcută cu mai mare prudență, deoarece aceste medii pot produce afecțiuni specifice pentru personalul feminin.

Sub aspect psihologico-intelectual nu există rezerve ca femeia să facă față în toate activitățile care solicită astfel de capacități. O anchetă făcută în Franța în anii 1974—1975 a dovedit că dacă puține femei ajung pe teptele superioare ale intelectualității nu competența este bariera, ci faptul că femeile dispun de mai puțin timp pentru pregătire profesională, fiind absorbite de sarcinile familiale și educația copiilor.

În consecință, ținînd cont de cele prezentate, se consideră necesar să fie studiat specificul procesului de muncă în unitățile MEE, în sensul identificării particularităților profesionale implicate și ale aspectelor socio-profesionale ale grupului de muncă, în vederea constituirii unui nomenclator de posturi de muncă în care poate fi repartizat personalul feminin. Această activitate trebuie să se bazeze pe reactualizarea socio-profesiogramelor pentru toate domeniile din sistemul energetic, în scopul stabilirii cerințelor specifice fiecărui post.

Pe marginea referatului prezentat și a discuțiilor purtate, la care au participat 11 specialiști din MEE, CIPEET, CPL, IPB, ICEMENERG, ISPE și din unele întreprinderi de producere și distribuție a energiei electrice și termice, au fost sintetizate următoarele aspecte:

— a lucra în domeniul energetic, domeniu prioritar în economia națională, reprezintă un fapt deosebit și trebuie să avem oameni bine pregătiți și adaptați social, indiferent dacă sînt femei sau bărbați. Pentru aceasta este necesar să se acționeze permanent, atît în MEE, cît și în MEI, prin introducerea de filtre de selecție suplimentare și repetate prin care cei neadaptați să fie eliminați și îndrumați către alte meserii;

— este necesar să fie elaborate socio-profesiograme pentru funcțiile și meseriile din unitățile MEE, în vederea identificării posturilor la care personalul feminin se adaptează mai ușor, care împreună cu diferite baterii de teste să îmbunătățească procesul de selecție;

— femeile pot ocupa, în principiu, orice funcție în unitățile M.E.E., dar este necesar să se țină cont de faptul că au o disponibilitate de timp mai mică pentru activitate, iar unele locuri de muncă necesită forță și efort fizic în diverse situații apărute inopinat în sistem; procesul de adaptare socio-profesională nu prezintă, în mod special, particularități deosebite pentru femei comparativ cu bărbații;

— datorită faptului că femeile sînt mai conștiincioase și au un mai accentuat simț al răspunderii față de sarcinile primite pot ocupa, uneori chiar mai bine decît bărbații, funcții de conducere; în acest sens, din datele care au fost prezentate, în rezerva de cadre de conducere CIPEET, femeile au o pondere importantă, ceea ce face posibilă o potențială promovare a acestora în funcții de conducere;

— procesul de adaptare în unitățile de învățămînt de profil energetic, în special în facultăți, este mai dificil pentru fete decît pentru băieți; astfel, dacă, datorită și unor particularități ale examenului, la admitere fetele au o pondere mare în primele locuri, la absolvire situația se prezintă invers; se consideră necesar, ca încă din școli să se găsească o gamă diversă de modalități, încît să fie posibilă realizarea unei preselecții, care împreună cu filtrele de selecție din întreprinderi și cu mecanismele proceselor de adaptare să contribuie la formarea unui personal competent și bine adaptat social în unitățile MEE.

Al doilea subiect „**Adaptarea personalului pentru activitățile din instalații cu climat de lucru cu presiuni și temperaturi ridicate**" a fost caracterizat de ș.l.dr.ing. Cezar Dumitru Ionescu. Caracterizarea făcută prin prezentarea categoriilor de influență a instalațiilor asupra personalului permite evaluarea atitudinii candidaților față de alegerea profesiunii de termoenergetician și elaborarea de măsuri pentru ameliorarea tuturor categoriilor de condiții de activitate. Se pot identifica șase categorii de influență, respectiv șase caracteristici.

Prima caracteristică este aspectul de dificultate al activității generat de factori de mediu ca de exemplu, temperatura ridicată și zgomotul precum și de factorii psihici în special de stressul permanent.

A doua caracteristică este accesibilitatea înțelegerii fenomenelor care se produc în procesul tehnologic și posibilitatea intervenției asupra acestuia din partea personalului. Pe de o parte, fenomenele termice sînt mai greu de înțeles, pe de altă parte, însă, viteza lor de desfășurare este relativ mică, astfel că există timp suficient pentru o intervenție corectă a personalului.

Înaltul nivel de automatizare a procesului tehnologic este a treia caracteristică a instalațiilor termoenergetice. Ca o consecință firească, personalul este concentrat în mare măsură în camere de comandă, fiind astfel ferit de contactul nemijlocit permanent cu condițiile dificile de mediu.

Deși instalațiile sînt concepute pentru funcționarea sigură, există totuși riscul de producere de avarii, care în anumite cazuri se dezvoltă violent cu efecte distructive pe o arie întinsă. Aceasta este a patra caracteristică de luat în considerare.

A cincea caracteristică este de natură psihică și constă în influența pe care o are asupra personalului gigantismul nstalațiilor.

De aceeași natură este și a șasea caracteristică și anume conștientizarea personalului asupra efectelor nocive pe care le au instalațiile asupra sănătății.

În concluzie, în mare măsură, caracteristicile enunțate pot influența negativ atracția față de profesiunea de termoenergetician. Pentru mărirea eficienței activității în domeniu energetic este necesară analizarea procesului tehnologic de toate categoriile de specialități ca tehnologi, ergonomi, psihologi etc., în vederea circumscrierii aspectelor negative.

În cadrul discuțiilor la care au participat 4 persoane s-a propus considerarea mai multor condiții dificile specifice lucrului în instalații. S-a făcut referire la noxele produse de instalații care alterează microclimatul locurilor de muncă, de exemplu praful, gazele, vibrațiile. Astfel, au fost citați indici specifici care în unele locuri depășesc cu mult normele, de exemplu conținutul de praf de cărbune în aer, de 80 mg/m^3 față de 10 mg/m^3 maxim admisibil. S-a obiectat că aceste condiții defavorabile provin în mare măsură din cauze subiective, de exemplu, deficiențe de concepție, de execuție și de reparație. Presiunea și temperaturile ridicate sînt însă impuse chiar prin procesul tehnologic de care sînt legate organic și deci acestea pot fi considerate în mod corect caracteristice pentru lucrul în instalațiile termoenergetice.

Este necesar să se acționeze pentru înlăturarea deficiențelor care generează cantități inadmisibile de noxe și să se dezvolte mijloacele de protecție industrială. În activitatea de instruire a personalului trebuie să se prezinte științific pericolele legate de procesele tehnologice termoenergetice, cu acent pe fenomenele tranzitorii.

Al treilea subiect a fost **„Adaptarea personalului pentru lucrul sub tensiune în instalațiile electrice"**. Prezentarea a fost făcută de ing. Mihai Ciocu, șeful sectorului de înaltă tensiune de la IRE Sibiu, unde au fost efectuate primele experimentări și unde s-a acumulat o bogată experiență în acest domeniu. A fost subliniat faptul că tehnologia pusă la punct pentru lucrul sub tensiune este redondantă din punctul de vedere al măsurilor de siguranță și că prin respectarea ei se obține o siguranță deplină.

Printre măsurile de adaptare a personalului la lucrul sub tensiune se scoate în evidență instruirea făcută cu grijă, pregătirea locului de muncă și enunțarea preliminară a tuturor operațiunilor, reinstruirea periodică, simplitatea instrucțiunilor, verificarea de fiecare dată a dispoziției psihice momentane. S-a putut constata că lucrul sub tensiune schimbă psihologia muncitorilor care devin mai disciplinați. Nu se constată efecte negative asupra muncitorilor. Se resimte necesitatea unui centru de instruire și verificare. La discuții au participat patru persoane. S-a relevat faptul că, pe cînd în instalațiile de înaltă tensiune se extinde lucrul sub tensiune, în mod surprinzător, în instalațiile de joasă tensiune se lucrează cu scoaterea de sub tensiune. De multe ori se produc accidente în aceste cazuri tocmai prin neglijarea măsurilor de siguranță. Introducerea lucrului sub tensiune ar mări simțul responsabilității și disciplina, putînd avea efecte favorabile asupra siguranței personalului.

Ing. Viorel Isăroiu

ICEMENERG

Informăm cititorii că în publicaţia ENERGETICA PESTE HOTARE — seria Informaţii tehnico-ştiinţifice au apărut următoarele articole prelucrate din reviste străine:

Vol. III/1989

Orientări în energetică

1. Planificarea pe termen lung a economiei energetice în R.D.G.

Energetica în unităţi economice

1. Posibilităţi de îmbunătăţire a bilanţului energetic al cuptoarelor cu arc electric

Dezvoltarea sistemelor energetice

1. China îşi propune ca obiectiv înfiinţarea unui sistem naţional unificat de energie electrică

Conducerea şi automatica SE

1. Model pentru prognozarea cererii de energie şi posibilitatea aplicării acestui model la gestiunea cererii

Centrale termoelectrice

1. Îmbinare prin sudură sub presiune la rece
2. Al şaptelea grup dublează producţia termocentralei Heilbronn

Centrale hidroelectrice

1. Construcţia hidrocentralei Cortes-La Muela din Spania
2. Prima hidrocentrală din China construită pe baza ajutorului acordat de Banca Mondială
3. Construcţia hidrocentralei de la Ertan

Centrale nuclearoelectrice

1. Un an după avaria de la Cernobîl
2. Alara — mai mult decît un joc de cifre
3. Securitatea nucleară — perspective

Surse şi tehnologii noi

1. Aspecte referitoare la performanţele unui sistem combinat gaze-abur neconvenţional care arde cărbune

Tehnologii chimice în energetică. Poluare

1. Epurarea gazelor calde gata să intre în funcţiune

Vol. IV/1989

Centrale termoelectrice

1. Cazane de concepţie modernă pentru centralele electrice mari şi industriale

Centrale hidroelectrice

1. Încercări pe model la scară efectuate pentru centrala cu acumulare prin pompaj de la Kühtai — Austria

Reţele electrice

1. Tehnologia de instalare a accesoriilor cablurilor cu izolaţie extrudată de înaltă tensiune
2. Scurtă prezentare a sistemelor electrice de distribuţie şi transport din Brazilia

Alimentare cu căldură

1. Regimul de tranziţie de la fierberea intermitentă la fierberea complet realizată în termosifoanele închise bifazate

Surse şi tehnologii noi

1. Proiectul de normă CTI — I2/I42 pentru construcţiile solarizate
2. Utilizarea energiei mareelor în R. P. Chineză

Tehnologii chimice în energetică. Poluare

1. Măsuri întreprinse în Japonia în vederea reducerii poluării atmosferei de către centralele termoelectrice
2. Coroziunea fisurantă sub tensiune, caustică, a oţelurilor vaselor de presiune, în soluţii alcalino-sulfuroase

Organizarea producţiei şi a muncii

1. Pregătiri vizînd evitarea eventualelor accidente

Publicaţia ENERGETICA PESTE HOTARE — seria Informaţii tehnico-ştiinţifice poate fi consultată la bibliotecile unităţilor d-voastră

CUPRINS

GENERAL AL REVISTEI ENERGETICA PE ANUL 1989

I. Orientări în energetică

1. Ioan Pop, Corneliu Ungureanu : Criterii de interşanjabilitate a combustibililor gazoşi, nr. 12, p. 530—536

II. Energetica în unităţi economice

1. Ioan Felea, Zoltan Zalányi : Model matematic şi program de calcul pentru evaluarea componentelor de daună provocată la întreruperea alimentării cu energie electrică a consumatorilor din construcţia de maşini, nr. 1, p. 17—22
2. Angela Perea, Miklos Zoldy, Anton Roşu, Mona Andrici, Radu Gliga : Realizări în recuperarea căldurii gazelor de ardere cu temperaturi scăzute, nr. 1, p. 22—26
3. Mircea Diaconescu, Gheorghe Savitescu, Corneliu Huţanu, Gheorghe Ijac, Gheorghe Cepoiu, Horaţiu Zărnescu, Călin Mihăileanu, Dorin Potlog: Instalaţii automate de control şi menţinere în funcţiune a acţionărilor electrice industriale cu motoare sincrone la perturbaţii de scurtă durată, nr. 2, p. 49—55
4. Titus Doru Haţiegan: Un model matematic pentru optimizarea consumurilor specifice de energie, nr. 2, p. 56—60.
5. Lucia Cristina Dumitriu, Cătălin Dumitriu : Contribuţii la optimizarea funcţionării consumatorilor industriali prin considerarea daunelor de calitate produse de perturbarea alimentării lor cu energie electrică, nr. 3, p. 97—102
6. Teodor Maghiar, Ioan Felea : Consideraţii privind parametrii şi bilanţul energetic al instalaţiilor de încălzire inductivă prin curenţi de medie frecvenţă, nr. 4—5, p. 166—174
7. Sava Porneală : Transformatoare de căldură cu absorbţie sau cu resorbţie într-o treaptă, nr. 4—5, p. 174—181
8. Cornel Mihăilă, Adrian Gabriel Ghiauş : O soluţie de reducere a consumurilor energetice la serele de mare capacitate, nr. 9, p. 385—388
9. Dumitru Romaş : Metode de economisire şi utilizare raţională a energiei termice necesare în industria uşoară, nr. 9, p. 389—393
10. Constantin Haiduc, Mioara Mirea : Cercetări privind determinarea necesarului de căldură la o întreprindere din Bucureşti, nr. 9, p. 394—396
11. Eugeniu Pavel : Noi aspecte ale teoriei receptoarelor trifazate statice dezechilibrate, nr. 11, p. 481—492

III. Dezvoltarea sistemului energetic

1. Arie A. Arie, Eugeniu Pavel : Transportul energiei electrice în curent continuu de înaltă tensiune. Situaţia actuală, nr. 1, p. 1—8
2. Mihaela Iordache : O posibilitate de estimare a daunelor economice provocate de abaterile de calitate a energiei electrice, nr. 1, p. 8—12
3. Manfred Stein, George Moraite, Christiana Bărbulescu : Unele aspecte privind condiţiile de racordare la sistem a unor generatoare de mare putere, nr. 1, p. 13—16
4. Pavel Buhuş, Gheorghe Comănescu : Cu privire la estimarea tranzitului total de sarcină W_g, nr. 2, p. 61—63
5. Mihai Pop, Lucian Lefter : 40 de ani de proiectare energetică, nr. 10, p. 433—444
6. Paul Emil Raşcu, Dinu Voinea, : Aspecte semnificative în evoluţia concepţiei de proiectare a staţiilor electrice în România, nr. 10, p. 445—457
7. Anca Popescu, George Manolescu, Hermina Albert, George Vâlcereanu, Emil Costin, Mihai Săndulescu : Preocupări actuale privind proiectarea dezvoltării Sistemului Energetic Naţional, nr. 10, p. 457—463
8. Liviu Groza, Florentina Mihăilescu : Evoluţii recente şi perspectiva legăturilor de interconexiune în curent în Europa, nr. 10, p. 463—469

IV. Conducerea şi automatica sistemului energetic

1. Alexandru Poeată, Violeta Ţăranu, Radu Silion, Ovidiu Diaconu, Gheorghe Georgescu, Virgil Alexandrescu : Contribuţii la creşterea observabilităţii şi controlabilităţii calităţii energiei electrice, nr. 4—5, p. 182—189
2. Dan Zlatanovici : Solicitări magnetice şi termice în dintele frontal statoric la turbogeneratoarele de 330 MW, nr. 4—5, p. 190—195
3. Marius Pomârleanu, Lia Bejuscu : Calculul regimurilor staţionare ale sistemelor electroenergetice aflate în apropierea stărilor critice, nr. 6, p. 241—250
4. Mihai Moga, Adrian Buta, Dănuţ Dăneasa : Determinarea pe baza datelor de catalog a parametrilor electrici ai circuitului echivalent al motorului de inducţie cu rotor în scurtcircuit, nr. 6, p. 250—258

V. Centrale termoelectrice

1. Vasile Popovici : Preocupări privind folosirea cenuşii şi zgurii de termocentrală, nr. 1, p. 27—31
2. Constantin Neaga : Regimul termic al gazelor de ardere la trecerea cazanelor cu tub de flacără de la funcţionarea cu hidrocarburi superioare la funcţionarea cu gaz de gazogen, nr. 3, p. 103—106
3. Gheorghe Chitic : Presiunea din stratul de ulei a etanşărilor frontale de la turbogeneratoarele răcite cu hidrogen, nr. 4—5, p. 196—201
4. Vladimir Nicu : Sporirea puterii livrate în SEN de o centrală electrică funcţionînd pe hidrocarburi, nr. 4—5, p. 202—206
5. George Ghercea, Crăiţa Mangu : Corelaţia dintre încărcarea termică a brîului arzătoarelor şi temperatura flăcării la focarele cazanelor de abur funcţionînd cu praf de cărbune, nr. 6, p. 259—262
6. Magdalena Matei, Ion Oprea, Nicolae Manea, Lucian Mihăescu, Gheorghe Haşcău, Nicolae Pănoiu, Cristina Dicu, Florin Raicu : Cercetări pe stand asupra eroziunii produse de cenuşă asupra schimbătoarelor de căldură la cazane, nr. 6, p. 262—269
7. Teodor Oroveanu, Ion Spulber : Citeva consideraţii asupra consumului de energie la transportul lichidelor prin conducte, nr. 7, p. 289—291
8. Mircea Rădulescu, Marian Vlădescu : Factorul de reţinere al focarului la cazane cu funcţionare pe lignit, în schema de insuflare directă cu mori ventilator cu ciocane, nr. 9, p. 397—401
9. Mircea Rădulescu, Cristian Totolo, Emil Trifa : Concentratorul de praf în două trepte-soluţie eficientă pentru stabilizarea arderii prafului de lignit la cazanul de 400 t/h din CET Oradea I, nr. 11, p. 493—498
10. Mihai Ploscaru, Mihai Lauric, Mihaela Gherase : Protejarea acţionării morilor ventilator la suprasarcină cu ajutorul cuplajelor centrifugale cu alice, nr. 12, p. 537—542

VI. Centrale hidroelectrice

1. Boris Borisevici : Metodă de dimensionare a bazinelor compensatoare ale centralelor hidroelectrice în cascadă, nr. 1, p. 32—36
2. Nicolae Şorea, Petru Dârvasă, Maria Şorea, Ionel Popa, Leopold Hristovici : Potenţialul hidroenergetic din judeţul Botoşani şi posibilităţile de valorificare, nr. 2, p. 64—65
3. Ioan Ghiuţă, Romulus Sfichi : Aducţiuni sub presiune din beton armat turnat la faţa locului în cadrul amenajărilor hidroenergetice de putere mică, nr. 7, p. 292—294
4. Dan Dobrescu, Liana—Maria Gomboşiu : Impactul amenajărilor hidroenergetice şi hidrotehnice asupra mediului ambiant, nr. 10, p. 470—475
5. Nicolae Iorgulescu, Constantin Oprea, Sabin Budu : Metode şi tehnologii noi în activitatea de studii şi cercetări pentru construcţii energetice, nr. 10, p. 475—479

VII. Centrale nuclearoelectrice

1. Constantin Sima, George Marinescu, Maria Gheorghiu : Probleme specifice de calcul economic la centralele nuclearoelectrice, nr. 3, p. 116—120

2. Vasile Popovici, Alexandru Hristoforov, Romeo Zbarcea : Transportul și manipularea echipamentului greu și/sau agabaritic la centralele termoelectrice și nuclearoelectrice, nr. 3, p. 107—115
3. Rodrig Lucreteanu, Traian Mauna : Un punct de vedere privind calitatea apei de răcire la CNE de tip CANDU, nr. 7, p. 295—298
4. Traian Mauna, Andriesica Mauna : Considerații asupra poluării mediului acvatic cu deșeuri lichide radioactive deversate din centralele nuclearoelectrice, nr. 11, p. 499—503
5. Paul Emil Rașcu : Aspecte actuale rezultate din construcția și exploatarea centralelor nucleare, nr. 12, p. 543—553

VIII. Rețele electrice

1. Laurențiu M. Goia, Aurelian Șerban : Tratarea neutrului, rețelelor de medie tensiune prin rezistor economic, nr. 1, p. 37—44
2. Dorin Cristescu, Sorin Coatu : Posibilități de creștere a economicității transportului de energie electrică prin compactizarea liniilor, nr. 2, p. 66—76
3. Paul Emil Rașcu : Considerații comparative asupra stațiilor electrice de 750 kV realizate în țările membre CAER, nr. 3, p. 121—131
4. Ion Conecini, Gabriela Banu, Ion Chiuță : Supratensiunile de rezonanță care pot apărea la liniile de înaltă tensiune, nr. 4—5, p. 207—212
5. Teodor Sireteanu, Emil Videa, Petru Tița, Daniela Constantinovici, Laurențiu Goia, Alexandru Albrecht : Unele aspecte privind măsurarea și analiza vibrațiilor conductoarelor liniilor electrice aeriene, nr. 4—5, p. 212—219
6. Dorel Cernomazu : Contribuții la creșterea siguranței în exploatarea comutatoarelor pentru reglajul în stare deconectată a tensiunii transformatoarelor cu puteri pînă la 1600 kVA, nr. 7, p. 299—303
7. Adrian Baraboi, Emilian Furnică : Tendințe actuale în tehnica echipamentelor de comutație în vid, nr. 7, p. 304—309
8. Laurențiu Goia : Considerații asupra unor prevederi din standardele revizuite privind protecția împotriva electrocutărilor, nr. 7, p. 310—315

IX. Alimentarea cu căldură

1. Radu Popa, Aureliu Leca, Nicolae Niculescu, Ion Uță : Model matematic pentru simularea regimurilor hidraulice de funcționare a sistemelor interconectate de termoficare cu apă caldă, nr. 4—5, p. 220—227
2. Nicolae Niculescu, Ion Uță, Aureliu Leca, Radu Popa : Aplicații ale modelului matematic pentru simularea regimurilor hidraulice de funcționare a sistemelor interconectate de termoficare cu apă caldă, nr. 6, p. 270—284
3. Radu Popa, Victor Athanasovici : Model matematic și program de calcul pentru determinarea variantei optime de dezvoltare a unei rețele de termoficare existente, nr. 7, p. 316—321
4. Radu Popa, Nicolae Niculescu, Ion Uță : Regimuri tranzitorii la interconectarea rețelelor de termoficare alimentate din surse diferite, nr. 9, p. 402—413
5. Vasile Caluianu, Nicolae Antonescu, Gheorghe Mihalașcu : Utilizarea optimă a unor recuperatoare de căldură din gazele de ardere, nr. 9, p. 413—419

X. Surse și tehnologii noi

1. Ioan Carabogdan, Victor Athanasovici, Vasile Angheluță, Camelia Borșan : Aspecte tehnico-economice ale recuperării căldurii gazelor de ardere, nr. 2, p. 77—82
2. Ion Berindan, Reka Kavacs-Dobolyi, Tiberiu Molnar, Iuliu Rostaș : Resturile lemnoase și fitomasa energetică — surse de hidrocarburi, nr. 2, p. 83—86
3. Cristian Țințăreanu, Gheorghe Voicu : Aprecierea performanțelor energetice ale unui grup aerogenerator, nr. 8, p. 337—342
4. Mauriciu Tudor, Simion Cornel Pop : Centrale aeroelectrice în zona Carpaților de Curbură, nr. 8, p. 342—348
5. Anghel Antoniu : Agregat aeroelectric de 300 kW destinat implementării în Sistemul Energetic Național, nr. 8, p. 349—354
6. Cristian Răducanu, Constantin Popescu : Centrale heliotermoelectrice hibride. Variante energetice, nr. 8, p. 354—357
7. Stoian Petrescu, Teodor Brusalis, Roxana Iordache, Monica Costea, Valeria Petrescu, Victor Vărzaru, Constantin Mihăilescu : Receptor de radiație solară concentrată cu stocaj termic în topituri, nr. 8, p. 358—363
9. Ioan Turcu, Constantin Popescu, Elena Mitrașca : Aspecte specifice privind implementarea centralelor solaroelectrice fotovoltaice în sistemul energetic, nr. 8, p. 364—371
10. Anca Zaharia : Sisteme fotovoltaice de pompare, nr. 8, p. 372—375
11. Corneliu Craiu, Cristian Ionescu, Nicolae Morărescu, Speranța Rasan : Utilizarea biogazului pentru producerea combinată a energiei electrice și termice, nr. 8, p. 376—381
12. Valeria Petrescu : Studii privind stocarea energiei termice în metale topite, nr. 9, p. 420—423
13. Ioan Anton, Francisc Gyulai, Iosif Preda, Cornel Albu Lazăr Broștean, Emilian Suciu, Ionel Baciu : Cercetări experimentale pe agregatul aeroelectric de laborator de la Institutul Politehnic din Timișoara nr. 11, p. 504—508
14. Francisc Gyulai, Cezar Dorin Galeriu : Modelarea în tunel aerodinamic a direi agregatelor de vînt, nr. 11, p. 508—511
15. Francisc Gyulai, Eugen Dobîndă : Cîteva probleme privind garantarea performanțelor aerodinamice ale turbinelor de vînt, nr. 11, p. 512—515
16. Romulus Sfichi, Tiberiu Țugui : Predeterminarea probabilistică a producției anuale de energie a unui aerogenerator prin liniarizarea caracteristicilor de putere nr. 11, p. 516—519

XI. Tehnologii chimice în energetică, Poluare

1. Margarios Salgian, Claudia Tomescu : Probleme privind protecția mediului înconjurător, nr. 12, p. 554—563

XII. Organizarea producției și a muncii

1. Emil Barbu, Virgil Prioteasa : Evoluția Trustului Electromontaj în 40 de ani de activitate, nr. 4—5, p. 145—149
2. Mihai Valeriu, Barbu Rosoiu : Utilizarea tehnicii de calcul în activitatea de construcții-montaje energetice a Trustului Electromontaj, nr. 4—5, p. 150—153
3. Virgil Chiricescu : 30 de ani de experiență în executarea lucrărilor în cabluri de 100 kV, nr. 4—5, p. 154—156
4. Florin Coman : Montajul stîlpilor de traversare a fluviilor cu linii electrice aeriene de înaltă tensiune, nr. 4—5, p. 157—160
5. Dumitru Enescu : Stația 750/400 kV Isaccea — moment de referință în activitatea Trustului Antrepriză Generală Electromontaj București, nr. 4—5, p. 161—165
6. Hermina Albert : Unele considerații privind fiabilitatea factorului uman, nr. 12, p. 564—566

XIII. Terminologia energetică

1. Mircea Dimitrie Cazacu : Asupra terminologiei privind regulatoarele de viteză pentru turbine hidraulice, nr. 2, p. 87—92
2. Liviu Groza : Cu privire la terminologia energetică în organizațiile internaționale, nr. 4—5, p. 228

XIV. Istoria electrificării

1. Paul Cartianu : Opera lui Maxwell în electromagnetism la 125 de ani de la prima publicare a concepției sale, nr. 4—5, p. 229—231
2. Cornelia Ivașcu : Din trecutul electrificării municipiului Timișoara, nr. 6, p. 279—284
3. Paul Cartianu : 140 de ani de la apariția celei dintîi cărți tratînd despre electricitate în limba română, nr. 7, p. 322
4. Paul Cartianu : La 100 de ani de la descoperirea undelor electromagnetice, nr. 9, p. 424—425

XV. Noutăți

XV.I.Cronică

1. Gheorghe Bălan : Cea de-a 32-a sesiune a CIGRE, 28 august—3 septembrie 1988, nr. 3, p. 139—140
2. Nicolae Georgian : Simpozionul Național al Rețelelor Electrice, ed. a V-a, Cluj-Napoca, 1988, nr. 7, p. 329
3. Claudiu Săvulescu : A 5-a Consfătuire a energeticienilor cu tema „Valorificarea resurselor energetice refolosibile și a surselor neconvenționale", Constanța, 11—12 mai 1989, nr. 7, p. 330—331

* * * Cea de a VI-a Consfătuire națională cu tema „Utilizarea rațională a energiei în industrie, transporturi, construcții și agricultură, nr. 11, p. 524—525

5. Romulus Sfichi : A VIII-a sesiune de comunicări tehnico-științifice. „Producerea, transportul, distribuția și utilizarea rațională a energiei, nr. 11, p. 526

XV.II. Recenzii

1. * * * Paul Dimo : Sistemul energetic planetar, nr. 7, p.332

XV.III. Invenții—Inovații : nr. 3, p.136—138 ; nr. 4—5, p.232

XV.IV. Din energetica mondială : nr. 1, p. 31 ; nr. 2, p. 76, 86 ; nr. 3, p. 102, 120 ; nr. 4—5, p. 181, 231, 234—235 ; nr. 7, p. 298, 323—328 ; nr. 8, p. 357, 371, 381 ; nr. 9, p. 396, 419, 423, 426 ; nr. 11, p. 503 ; nr. 12, p. 536

XV.V. De la Comisia Europeană ONU : nr. 4—5, p. 233

XV.VI. De personis : nr. 1, p. 45—46 ; nr. 2, p. 93 ; nr. 3, p. 141 ; nr. 4—5, p. 236 ; nr. 6, p. 285 ; nr. 7, p. 333

XV.VII. Cărți noi : nr. 4—5, p. 189 ; nr. 9, p. 427—428

XV.VIII. Masă rotundă : Viorel Isăroiu : Adaptarea socio-profesională a personalului pentru activitățile din unitățile M.E.E. Sibiu, nr. 12, p. 567—568

INDEX ALFABETIC AL AUTORILOR ARTICOLELOR APĂRUTE ÎN REVISTA ENERGETICA ÎN ANUL 1989

Albert Hermina, nr.10,p. 457 (III, 7), nr. 12, p. 564 (XII, 6)
Albrecht Alexandru, nr. 4—5, p. 212 (VIII, 5)
Albu Cornel, nr. 11, p. 504 (X, 13)
Alexandrescu Virgil, nr. 4—5, p. 182 (IV, 1)
Andrici Mona, nr. 1, p. 22 (II, 2)
Angheluță Vasile, nr. 2, p. 77 (X, 1)
Anton Ioan, nr. 11, p. 504 (X, 13)
Antonescu Nicolae, nr. 9, p. 413 (IX, 5)
Antoniu Anghel, nr. 8, p. 349 (X, 5)
Arie A. Arie, nr. 1, p. 1 (III, 1)
Athanasovici Victor, nr. 2, p. 77 (X, 1), nr. 7, p. 316 (IX, 3)

Baciu Ionel, nr. 11, p. 504 (X, 13)
Banu Gabriela, nr. 4—5, p. 207 (VIII, 4)
Baraboi Adrian, nr. 7, p. 304 (VIII, 7)
Barbu Emil, nr. 4—5, p. 145 (XII, 1)
Bălan Gheorghe, nr. 5, p. 139 (XV.I. 1)
Bărbulescu Christiana, nr. 1, p. 13 (III, 3)
Bejuscu Lia, nr. 6, p. 241 (IV, 3)
Berindan Ion, nr. 2, p. 83 (X, 2)
Borisevici Boris, nr. 1, p. 32 (VI, 1)
Borșan Camelia, nr. 2, p. 77 (X, 1)
Broștean Lazăr, nr. 11, p. 502 (X, 13)
Brusalis Teodor, nr. 8, p. 358 (X, 7)
Budu Sabin, nr. 10, p. 475 (VI, 5)
Buhuș Pavel, nr. 2, p. 61 (III, 4)
Buta Adrian, nr. 6, p. 250 (IV, 4)

Caluianu Vasile, nr. 9, p. 413 (IX, 5)
Carabogdan Ion, nr. 2, p. 77 (X, 1)
Cartianu Paul, nr. 3, p. 141, nr. 4—5, p. 229 (XIV, 1), nr. 7, p. 322 (XIV, 3), nr. 9, p. 424 (XIV, 4)
Cazacu Mircea Dimitrie, nr. 2, p. 87 (XIII, 1)
Cepoiu Gheorghe, nr. 2, p. 49 (II, 3)
Cernomazu Dorel, nr. 7, p. 299 (VIII, 6)
Chercea George, nr. 6, p. 259 (V, 5)
Chiricescu Virgil, nr. 4—5, p. 154 (XII, 3)
Chitic Gheorghe, nr. 4—5, p. 196 (V, 3)
Chiuță Ion, nr. 4—5, p. 207 (VIII, 4)
Coatu Sorin, nr. 2, p. 66 (VIII, 2)
Coman Florin, nr. 4—5, p. 157 (XII, 4)
Comănescu Gheorghe, nr. 2, p. 61 (III, 4)
Conecini Ion, nr. 4—5, p. 207 (VIII, 4)
Constantinovici Daniela, nr 4—5, p. 212 (VIII, 5)
Costea Monica, nr. 8, p. 358 (X, 7)
Costin Emil, nr. 10, p. 457 (III, 7)
Craiu Corneliu, nr. 8, p. 376 (X, 11)
Cristescu Dorin, nr. 2, p. 66 (VIII, 2)

Dăneasa Dănuț, nr. 6, p. 250 (IV, 4)
Dârvasă Petru, nr. 2, p. 64 (VI, 2)
Diaconescu Mircea, nr. 2, p. 49 (II, 3)
Diaconu Ovidiu, nr. 4—5, p. 182 (IV, 1)
Dicu Cristina, nr. 6, p. 262 (V, 6)
Dobîndă Eugen, nr. 11, p. 512 (X, 15)
Dobrescu Dan, nr. 10, p. 470 (VI, 4)
Dumitriu Cătălin, nr. 3, p. 97 (II, 5)
Dumitriu Lucia Cristina, nr. 3, p. 97 (II, 5)

Enescu Dumitru, nr. 4—5, p. 161 (XII, 5)

Felea Ioan, nr. 1, p. 17 (II, 1), nr. 4—5, p. 166 (II, 6),
Fransua Alexandru, nr. 1, p. 45 (XV. VI)
Furnică Emilian, nr. 7, p. 304 (VIII, 7)

Galeriu Cezar Dorin, nr. 11, p. 508 (X, 14)
Georgescu Gheorghe, nr. 4—5, p. 182 (IV, 1)
Georgian Nicolae, nr. 7, p. 329 (XV. I, 2)
Gheorghiu Maria, nr. 3, p. 116 (VII, 1)
Gherase Mihaela, nr. 12, p. 537 (V, 10)
Ghiauș Adrian Gabriel, nr. 9, p. 385 (II, 8)
Ghiuță Ioan, nr. 7, p. 292 (VI, 3)
Gliga Radu, nr. 1, p. 22 (II, 2)
Goia Laurențiu, nr. 1, p. 37 (VIII, 1), nr. 4—5, p. 212 (VIII, 5), nr. 7, p. 310 (VIII, 8)
Gomboșiu Liana-Maria, nr. 10, p. 470 (VI, 4)
Groza Liviu, nr. 4—5, p. 228 (XIII, 2) nr. 10, p. 463 (III, 8)
Gyulai Francisc, nr. 11, p. 504 (X, 13), nr. 11, p. 508 (X, 14), nr. 11, p. 512 (X, 15)

Haiduc Constantin, nr. 9, p. 394 (II, 10)
Hașcău Gheorghe, nr. 6, p. 262 (V, 6)
Hațiegan Titus Doru, nr. 1, p. 56 (II, 4)
Hristoforov Alexandru, nr. 3, p. 107 (VII, 2)
Hristovici Leopold, nr. 2, p. 64 (VI, 2)
Huțanu Corneliu, nr. 2, p. 49 (II, 3)

Ijac Gheorghe, nr. 2, p. 49 (II, 3)
Iordache Mihaela, nr. 1, p. 8 (III, 2)
Iordache Roxana, nr. 8, p. 358 (X, 7)
Ionescu Cristian, nr. 8, p. 376 (X, 11)
Iorgulescu Nicolae, nr. 10, p. 475 (VI, 5)
Isăroiu Viorel, nr. 12, p. 567(XV. VIII)
Ivașcu Cornelia, nr. 6, p. 279 (XIV, 2)

Kovacs-Dobolyi Reka, nr. 2, p. 83 (X, 2)

Lauric Mihai, nr. 12, p. 537 (V, 10)
Leca Aureliu, nr. 4—5, p. 220 (IX, 1), nr. 6, p. 270 (IX, 2)
Lefter Lucian, nr. 10, p. 433 (III, 5)
Lucreţeanu Rodrig, nr. 7, p. 295 (VII, 3)

Maghiar Teodor, nr. 4—5, p. 166 (II, 6)
Manea Nicolae, nr. 6, p. 262 (V, 6)
Mangu Crăiţa, nr. 6, p. 259 (V, 5)
Manolescu George, nr. 4—5, p. 233 (XV. V), nr. 10, p. 457 (III, 7)
Marinescu George, nr. 3, p. 116 (VII, 1)
Matei Magdalena, nr. 6, p. 262 (V, 6)
Mauna Andrieşica, nr. 11, p. 499 (VII, 4)
Mauna Traian, nr. 7, p. 295 (VII, 3), nr. 11, p. 499 (VII, 4)
Mihalaşcu Gheorghe,nr. 9, p. 413 (IX, 5)
Mihăescu Lucian, nr. 6, p. 262 (V, 6)
Mihăilă Cornel, nr. 9, p. 385 (II, 8)
Mihăileanu Călin, nr. 2, p. 49 (II, 3)
Mihăilescu Constantin, nr. 8, p. 358 (X, 7)
Mihăilescu Florentina, nr. 10, p. 463 (III, 8)
Mirea Mioara, nr. 9, p. 394 (II, 10)
Mitraşca Elena, nr. 8, p. 364 (X, 9)
Moga Mihai, nr. 6, p. 250 (IV, 4)
Molnar Tiberiu, nr. 2, p. 83 (X, 2)
Moraite George, nr. 1, p. 13 (III, 3)
Morărescu Nicolae, nr. 8, p. 376 (X, 11)

Neaga Constantin, nr. 3, p. 103 (V, 2)
Nicu Vladimir, nr. 4—5, p. 202 (V, 4)
Niculescu Nicolae, nr. 4—5, p. 220 (IX, 1), nr. 6, p. 270 (IX, 2), nr. 9, p. 204 (IX, 4)

Oprea Constantin, nr. 10, p. 475 (VI, 5)
Oprea Ion, nr. 6, p. 262 (V, 6)
Oroveanu Teodor, nr. 7, p. 289 (V, 7)

Pavel Eugeniu, nr. 1, p. 1 (III, 1), nr. 11, p. 481 (II, 11)
Pănoiu Nicolae, nr. 6, p. 262 (V, 6)
Perea Angela, nr. 1, p. 22 (II, 2)
Petrescu Stoian, nr. 8, p. 358 (X, 7)
Petrescu Valeria, nr. 8, p. 358 (X, 7), nr. 9, p. 420 (X, 12)
Ploscaru Mihai, nr. 12, p. 537 (V, 10)
Poeată Alexandru, nr. 4—5, p. 182 (IV, 1)
Pomârleanu Marius, nr. 6, p. 241 (IV, 3)
Pop Ioan, nr. 12, p. 530 (I, 1)
Pop Mihai, nr. 10, p. 433 (III, 5)
Pop Simion Cornel, nr. 8, p. 342 (X, 4)
Popa Ionel, nr. 2, p. 64 (VI, 2)
Popa Radu, nr. 4—5, p. 220 (IX, 1), nr. 6, p. 270 (IX, 2), nr. 7, p. 316 (IX, 3), nr. 9, p. 402 (IX, 4)
Popescu Anca, nr. 10, p. 457 (III, 7)
Popescu Constantin, nr. 8, p. 354 (X, 6), nr. 8, p. 364 (X, 9)
Popovici Vasile, nr. 1, p. 27 (V, 1), nr. 3, p. 107 (VII, 2)
Porneală Sava, nr. 4—5, p. 174 (II, 7)
Potlog Dorin, nr. 2, p. 49 (II, 3)
Preda Iosif, nr. 11, p. 504 (X, 13)
Prioteasa Virgil, nr. 4—5, p. 145 (XII, 1)

Raicu Florin, nr. 6, p. 262 (V, 6)
Rasan Speranţa, nr. 8, p. 376 (X, 11)
Raşcu Paul Emil, nr. 3, p. 121 (VIII, 3), nr. 10, p. 445 (III, 6), nr. 12, p. 543 (VII, 5)
Răducanu Cristian, nr. 8, p. 354 (X, 6)
Rădulescu Mircea, nr. 9, p. 397 (V, 8), nr. 11, p. 493—498 (V 9)
Romaş Dumitru, nr. 9, p. 389 (II, 9)
Rosoiu Barbu, nr. 4—5, p. 150 (XII, 2)
Rostaş Iuliu, nr. 2, p. 83 (X, 2)
Roşu Anton, nr. 1, p. 22 (II, 2)

Salgian Margarios, nr. 12, p. 554 (XI, 1)
Savitescu Gheorghe, nr. 2, p. 49 (II, 3)
Săndulescu Mihai, nr. 10, p. 457 (III, 7)
Săvulescu Claudiu, nr. 7, p. 330 (XV. I, 3)
Sfichi Romulus, nr. 7, p. 292 (VI, 3), nr. 11, p. 516(X, 16),
Silion Radu, nr. 4—5, p. 182 (IV, 1)
Sima Constantin, nr. 3, p. 116 (VII, 1)
Sireteanu Teodor, nr. 4—5, p.212 (VIII, 5)
Spulber Ion, nr. 7, p. 289 (V, 7)
Stein Manfred, nr. 1, p. 13 (III, 3)
Suciu Emilian, nr. 11, p. 504 (X, 13)
Şerban Aurelian, nr. 1, p. 37 (VIII, 1)
Şorea Maria, nr. 2, p. 64 (VI, 2)
Şorea Nicolae, nr. 2, p. 64 (VI, 2)

Tiţa Petru, nr. 4—5, p. 212 (VIII, 5)
Tomescu Claudia, nr. 12, p. 554 (XI, 1)
Tudor Mauriciu, nr. 8, p. 342 (X, 4)
Turcu Ion, nr. 8, p. 364 (X, 9)

Ţăranu Violeta, nr. 4—5, p. 182 (IV, 1)
Ţînţăreanu Cristian, nr. 8, p. 337 (X, 3)
Ţugui Tiberiu, nr. 11, p. 511 (X, 16)

Ungureanu Corneliu, nr. 12, p. 530 (I, 1)
Uţă Ion nr. 4—5, p. 220 (IX, 1) nr. 6, p. 270 (IX, 2) nr. 9, p. 402 (IX, 4)

Valeriu Mihai, nr. 4—5, p. 150 (XII, 2)
Vărzaru Victor, nr. 8, p. 358 (X, 7)
Vâlcereanu Gheorghe, nr. 10, p. 457 (III, 7)
Videa Emil, nr. 4—5, p. 212 (VIII, 5)
Vlădescu Marian, nr. 9, p. 397 (V, 8)
Voicu Gheorghe, nr. 8, p. 337 (X, 3)
Voinea Dinu, nr. 10, p. 445 (III, 6)

Zaharia Anca, nr. 8, p. 372 (X, 10)
Zalányi Zoltan, nr. 1, p. 17 (II, 1)
Zane Radu, nr. 3, p. 141 (XV. VI)
Zărnescu Horaţiu, nr. 2, p. 49 (II, 3)
Zbarcea Romeo, nr. 3, p. 107 (VII, 2)
Zlatanovici Dan, nr. 4—5, p. 190 (IV, 2)
Zoldy Miklos, nr. 1, p. 22 (II, 2)

СОДЕРЖАНИЕ

НАПРАВЛЕНИЯ В ЭНЕРГЕТИКЕ

ИОАН ПОП, КОРНЕЛ УНГУРЯНУ: Критерии взаимозаменяемости газообразных топлив 530—536

ТЕПЛОЭКЕКТРОСТАНЦИИ

МИХАЙ ПЛОСКАРУ, МИХАЙ ЛАУРИК, МИХАЕЛА ГЕРАСЕ: Защита привода вентиляторных мельниц при перенагрузке с помощью центробежных дробяных му фт 537—542

АТОМНЫЕ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

ПАУЛ ЭМИЛ РАШКУ: Актуальные аспекты, результирующие из строительства и эксплуатации атомных электростанций 543—553

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ В ЭНЕРГЕТИКЕ. ЗАГРЯЗНЕНИЕ

МАРГАРИОС САЛДЖИАН, КЛАУДИА ТОМЕСКУ: Проблемы, касающиеся защиты окружающей среды 554—563

ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА И ТРУДА

АЛБЕРТ ХЕРМИНА: Некоторые соображения относительно надежности человеческого фактора 564—566

КРУГЛЫЙ СТОЛ

ВИОРЕЛ ИСЭРОЮ: Социально-профессиональная адаптация персонала к работе на предприятиях МЭЭ 567—568

НОВОСТИ

ИЗ МИРОВЙ ЭНЕРГЕТИКИ 536

ОБЩЕЕ СОДЕРЖАНИЕ ЖУРНАЛА ЭНЕРГЕТИКА НА 1989 ГОД 570—572

АЛФАВИТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ АТОРОВ СТАТЕЙ, ОПУБЛИКОВАННЫХ В ЖУРНАЛЕ ЭНЕРГЕТИКА, том 36 (1989 г.) 572—573

INHALT

ENTWICKLUNGSRICHTUNGEN IN DER ENERGIEWIRTSCHAFT

IOAN POP, CORNEL UNGUREANU: Austauschbarkeitskriterien für gasförmige Brennstoffe 530—536

WÄRMEKRAFTWERKE

MIHAI PLOSCARU, MIHAI LAURIC, MIHAELA GHERASE: Über den Schutz der Schlagradmühlenantriebe gegen Überbelastung mit Hilfe zentrifugaler Schrotkupplungen 537—542

KERNKRAFTWERKE

PAUL EMIL RAŞCU: Aktuelle Aspekte im Bau und Betrieb der Kernkraftwerke 543—553

CHEMISCHE TECHNOLOGIEN IN DER ENERGIEWIRTSCHAFT. UMWELTSCHUTZ

MARGARIOS SALGIAN, CLAUDIA TOMESCU: Fragen zum Umweltschutz 554—563

DIE ORGANISIERUNG DER ARBEIT UND DER PRODUKTION

HERMINA ALBERT: Betrachtungen zur Zuverlässigkeit des menschlichen Faktors 564—566

RUNDER TISCH

VIOREL ISĂROIU: Sozial-professionelle Anpassungsfähigkeit des Personals für die im Rahmen des Ministeriums für Elektroenergie durchgeführten Tätigkeiten 567—568

NEUIGKEITEN

DIE ENERGIEWIRTSCHAFT WELTWEIT 536

ALLGEMEINES INHALTSVERZEICHNIS DER ZEITSCHRIFT „ENERGETICA" FÜR DAS JAHR 1989 570—572

ALPHABETISCHES VERZEICHNIS DER VERFASSER DER IN DER ZEITSCHRIFT „ENERGETICA" BAND 37 (1989) HERAUSGEGEBENEN BERICHTE 572—573

CONTENTS

TRENDS IN ENERGY POLICY

IOAN POP, CORNEL UNGUREANU: Interchangeability Criteria of Gaseous Fuels 530—536

THERMAL POWER PLANTS

MIHAI PLOSCARU, MIHAI LAURIC, MIHAELA GHERASE : Fan Mills Drives Overload Protection With Centrifugal Pellets Couplings 537—542

NUCLEAR POWER PLANTS

PAUL EMIL RAŞCU: Present Aspects of Nuclear Power Plant Erection and Operation 543—553

CHEMICAL TECHNOLOGIES IN ENERGY. ENVIRONMENTAL PROTECTION

MARGARIOS SALGIAN, CLAUDIA TOMESCU: Problems Concerning Environmental Protection 554—563

LABOUR AND PRODUCTION

HERMINA ALBERT: Considerations Regarding Human Reliability 564—566

ROUND TABLE

VIOREL ISĂROIU: Social and Professional Personnel Fitness for Activities Carried out Within the Ministry of Electric Energy 567—568

NEWS

ENERGY WORLDWIDE 536

GENERAL CONTENTS OF THE REVIEW "ENERGETICA" FOR THE YEAR 1989 570—572

ALPHABETICAL AUTHORS' INDEX OF PAPERS PUBLISHED IN THE REVIEW "ENERGETICA" Vol. 37(1989)

572—573

SOMMAIRE

ORIENTATION DES POLITIQUES ÉNERGÉTIQUES

IOAN POP, CORNEL UNGUREANU: Critères d'interchangeabilité des combustibles gazeux 530—536

CENTRALES THERMIQUES

MIHAI PLOSCARU, MIHAI LAURIC, MIHAELA GHERASE: La protection de l'entraînement des couplages centrifuges à grenailles 537—542

CENTRALES NUCLÉAIRES

PAUL EMIL RAŞCU: Aspects actuels résultés de la construction et du fonctionnement des centrales nucléaires 543—553

TECHNOLOGIES CHIMIQUES EN ENERGETIQUES. POLLUTION.

MARGARIOS SALGIAN, CLAUDIA TOMESCU: Problèmes concernant la protection du milieu environnant 554—563

ORGANISATION DE LA PRODUCTION ET DU TRAVAIL

HERMINA ALBERT: Quelques considérations concernant la fiabilité du facteur humain 564—566

TABLE RONDE

VIOREL ISĂROIU: Adaptation sociale — professionnelle du personnel pour les activités déployées dans les entreprises du Ministères de l'Energie Electrique 567—568

NOUVEAUTÉS

DE L'ÉNERGÉTIQUE MONDIALE 536

LE SOMMAIRE GÉNÉRAL DE LA REVUE ENERGETICA EN 1989 570—572

INDEX ALPHABÉTIQUE DES AUTEURS DES ARTICLES PUBLIES DANS LA REVUE ENERGETICA vol. 37 (1989)

572—573

COLEGIUL DE REDACȚIE

Președinte, redactor responsabil: **dr. ing. Eugeniu Pavel**
Redactori responsabili adjuncți: **dr. ing. Mihai G. M. Pop, ing. Radu Opincaru, dr. ing. Radu Enache, ș.l. dr. ing. Cezar Ionescu**
Secretar de redacție: **dr. ing. Teodor Popa**
Gestiunea financiară: **ec. Pompiliu Silvășanu**

Orientări în energetică: **dr. ing. Mario Duma**
Energetica în unități economice: **ing. Ion Mălereanu, ing. Alexandru Floreseu**
Dezvoltarea sistemelor energetice: **dr. ing. George Manolescu, dr. ing. Anca Popescu**
Conducerea și automatica SE: **dr. ing. Victor Romert, dr. ing. Jean Constantinescu**
Centrale termoelectrice: **conf. dr. ing. Costin Moțoiu, ing. Romeo Zbarcea**
Centrale hidroelectrice: **conf. dr. ing. Valeriu Nistreanu, dr. ing. Gheorghe Luca**
Centrale nuclearoelectrice: **ing. Adrian Georgescu, prof. dr. ing. Nicolae Dănilă, ing. Mircea Tarța, dr. ing. Gheorghe Bălan**
Rețele electrice: **ing. Dinu Voinea, ing. Nicolae Georgian**
Alimentare cu căldură: **ing. Nicolae Nieuleseu, conf. dr. ing. Victor Athanasoviei**
Surse și tehnologii noi: **ing. Constantin Popescu, ș.l. dr. ing. Ion Chiuță**
Tehnologii chimice în energetică. Poluare: **dr. chim. Maria Maftei**
Organizarea producției și a muncii: **ing. Miron Popescu**
Terminologia energetică: **dr. ing. Iosif Cserveny**
Istoria electrificării: **ing. Paul Cartianu**
Noutăți: **ing. Mihai Nistor, ing. Romulus Sfichi**
Centre universitare și industriale:
Iași: **prof. dr. ing. Alexandru Poeată**
Timișoara: **prof. dr. ing. Viorel Negru**

Acest număr a fost realizat cu concursul următorilor secretari ai grupelor de specialitate:
— **ec. Florin Popovici** — Orientări în energetică
— **ing. Anton Roșu** — Centrale termoelectrice
— **ing. Călin Teodorescu** — Centrale nuclearoelectrice
— **chim. Eleonora Ataman** — Chimia în energetică. Poluare
— **ec. Gheorghe Băluță** — Organizarea producției și a muncii

Revista „ENERGETICA" este editată și administrată de Institutul de Cercetări și Modernizări Energetice prin Oficiul de Informare-Documentare pentru Energetică.
Vasile Pleșca — șef OIDE, **Ana Maria Chivu** — redactor

Revista ENERGETICA — publicație lunară, reflectă preocupările spirituale și realizările materiale în domeniul energeticii. Funcționează în conformitate cu *ROF* aprobat cu Ordinul nr. 97/1987, publicat în numărul 4/87 al revistei. Elaboratorii de lucrări propuse pentru publicare sînt rugați să consulte *„Îndrumările pentru întocmirea și prezentarea lucrărilor propuse pentru a fi publicate în revista Energetica"*, *„Ghidul pentru avizarea lucrărilor propuse pentru a fi publicate în revista Energetica"* apărute în numărul 12/86, precum și *„Planul tematic al revistei Energetica pe anii 1988 — 1990"* publicat în nr. 5/1987 al revistei.

Instituțiile pot achita abonamentele în contul de virament nr. 30.11.8.01.01. — — BN România fil. sector. 3, sau direct la redacție. Costul unui abonament: 144 lei anual; costul unui exemplar: 12 lei.
Redacția și administrația revistei: Bd. Energeticienilor nr. 8, sect. III, cod 79 619, București.

41 401

ANNOUNCEMENTS FOR READERS ABROAD

- **The review "Energetica" can send on request from publications abroad reports translated in one of the worldwide spoken languages**
- **The review "Energetica" proposes a publication exchange with similar reviews and in relating fields**
- **The review "Energetica" provides and publishes or introduces books on energy received at the editorial office. Reviews and presentations of books sent on this purpose to the editorial office can be published as well**
- **The review "Energetica" publishes on request from authors abroad reports of energy of other materials: technical and scientific news, inventions-innovations, information about technical and scientific symposia, etc. written in one of the worldwide spoken languages**
- **Readers from abroad can subscribe through: ROMPRESFILATELIA — sectorul import-export, P.O. Box 12—201, telex 10376 prsfir, Calea Griviței nr. 64—66, București — România.**

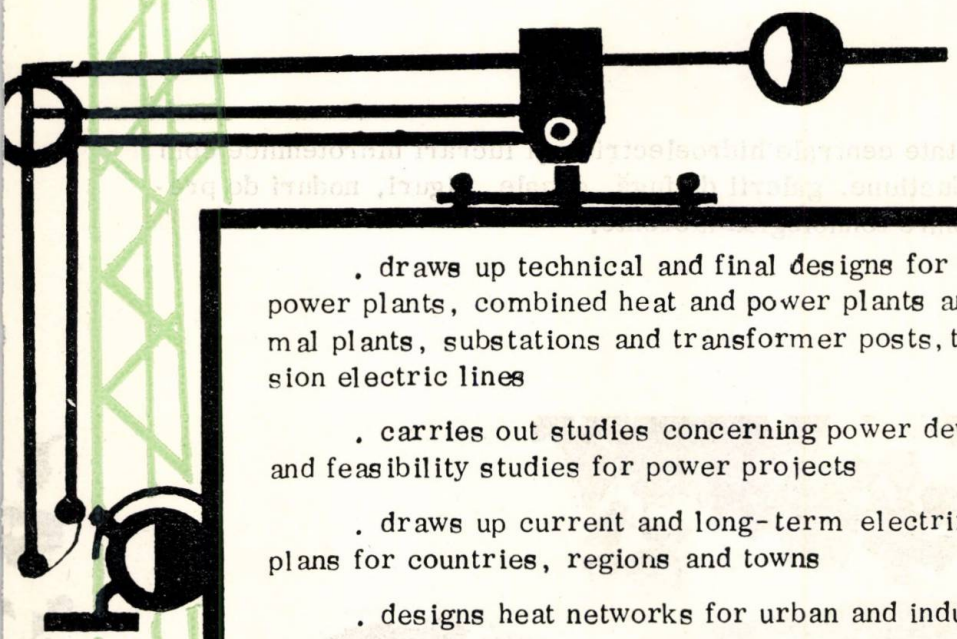
Tiparul: Întreprinderea Poligrafică „Informația—Universul", București, str. Brezoianu 23—25 cd. 1671

ISPE

MINISTERUL ENERGIEI ELECTRICE
INSTITUTUL DE STUDII SI PROIECTĂRI ENERGETICE
ROMANIA, 72301 Bucureşti, sector 2, Bdul Lacul Tei nr. 1
Telegrame : ISPE-Bucureşti, telex : 10978 ispe r, telefon : 107080

The Institute for Power Studies and Designs, the specialized body of the Ministry of Electric Energy, carries out studies and designs required for the "development and for the economic and safety operation of the national power system

It co-operates with foreign companies and organizations for specialized works and gives, on demand, all kind of engineering assistance in the power field and :



. draws up technical and final designs for thermal power plants, combined heat and power plants and thermal plants, substations and transformer posts, transmission electric lines

. carries out studies concerning power development and feasibility studies for power projects

. draws up current and long-term electrification plans for countries, regions and towns

. designs heat networks for urban and industrial purposes

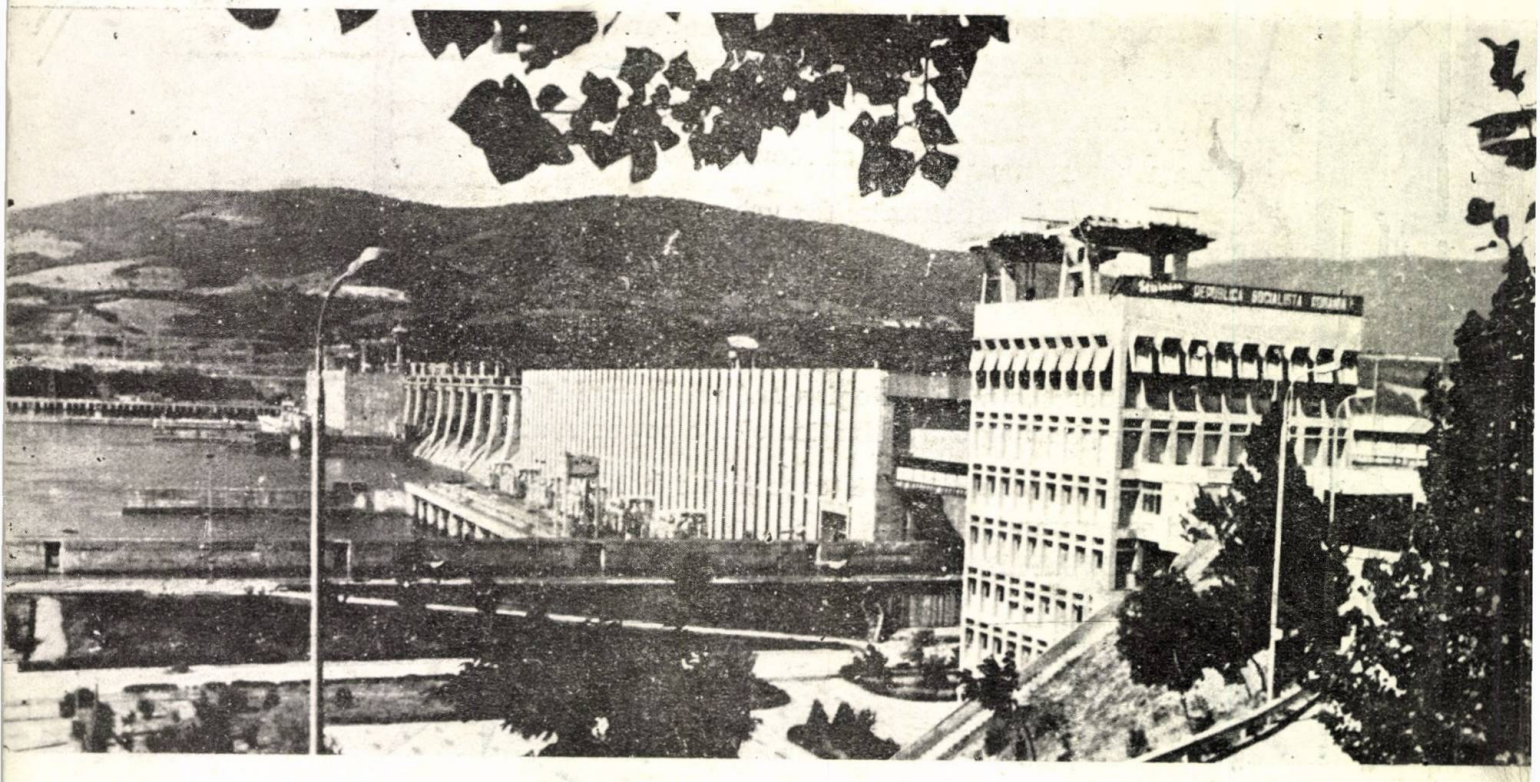
. elaborates studies for establishing the power regime and safety operation

. elaborates methodologies and programmes concerning the planning and operation of the power system

. grants technical assistance in the field of analysis and programming.

TAGCH

TRUSTUL ANTREPRIZA GENERALA DE CONSTRUCTII HIDROENERGETICE BUCURESTI

CALEA DOROBANTILOR NR. 103-105 TELEFON: 79 64 30
SECTOR 1 COD: 78.072 TELEX: 10244 P

execută în ţară şi în străinătate centrale hidroelectrice şi lucrări hidrotehnice complexe : baraje, galerii de aducţiune, galerii de fugă, canale, diguri, noduri de presiune şi lucrările de organizare tehnologică aferente.